

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

# **СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

**Посібник**

**для студентів спеціальності 136 «Металургія»  
денної та заочної форм навчання**

Затверджено  
на засіданні вченої ради  
Протокол № 13 від 26.06.2019

Краматорськ  
ДДМА  
2019

УДК 621.7.016  
С71

**Автори:**

Л. І. Алієва,  
П. Абхарі,  
Х. В. Малій,  
О. А. Кузенко.

**Рецензенти:**

*Бейгельзімер Я. Ю.*, д-р техн. наук, професор, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна «Національної академії наук України», м. Київ;

*Кухар В. В.*, д-р техн. наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», завідувач кафедри «Обробка металів тиском», м. Маріуполь.

С71 Спеціальні види обробки металів тиском : посібник для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / Л. І. Алієва, П. Абхарі, Х. В. Малій, О. А. Кузенко. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 95 с.  
ISBN 978-966-379-907-0

У посібнику з сучасних позицій розглянуто питання інтенсифікації процесів обробки металів тиском. Наведено спеціальні способи обробки листових і об'ємних деталей.

Призначено для студентів спеціальності «Обробка металів тиском», які вивчають курс «Спеціальні види обробки металів тиском».

**УДК 621.7.016**

© Л. І. Алієва, П. Б. Абхарі, Х. В. Малій,  
О. А. Кузенко, 2019

ISBN 978-966-379-907-0

© ДДМА, 2019

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ</b> .....	6
<b>2 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСУ КУВАННЯ</b> .....	8
2.1 Ротаційне кування.....	8
2.2 Ротаційне кування з подачею .....	10
2.3 Врізне ротаційне кування .....	10
2.4 Ротаційне кування без внутрішнього інструменту (оправки, дорна) .....	11
2.5 Ротаційне кування на оправці .....	11
2.6 Ротаційне кування з допомогою ЧПК .....	12
2.7 Висадка ротаційно-кувальним методом.....	12
<b>3 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСУ ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ</b> .....	13
3.1 Виготовлення заготовок штампуванням обкочуванням.....	13
3.2 Торцеве розвальцювання кільцевих деталей.....	15
3.3 Накатування різі і профілей.....	18
3.4 Накатування зубчастих профілей .....	20
3.5 Розвальцювання кільцевих заготовок .....	23
3.5.1 Способи розвальцювання .....	24
3.6 Оброблення на ротаційно-обтискній і радіально-обтискній машинах.....	28
3.6.1 Класифікація обтискних машин .....	29
3.7 Виготовлення тонкопрофільних виробів вальцюванням .....	30
3.8 Вибухове пресування заготовок для турбінних лопаток.....	34
3.9 Виготовлення заготовок і деталей з порошкових матеріалів (пресування порошків рухомими середовищами) .....	36
3.9.1 Формування в деталі .....	38
3.9.1.1 Прес-форма для одностороннього пресування .....	38
3.9.1.2 Прес-форма для двостороннього пресування .....	39

3.10 Гідравлічне штампування порожнистих деталей з відведеннями з трубчастих заготовок.....	41
3.11 Виготовлення гідравлічним штампуванням пустотілих деталей без відводів .....	45
3.12 Процес накопичення деформації .....	49
3.12.1 Схема гвинтової екструзії .....	53
3.13 Профілювання заготовок витискуванням через приводні обертові валки .....	54
3.14 Технологія екструзії .....	56
3.14.1 Види екструзії .....	57
3.14.2 Будова екструдера .....	57
3.14.3 Екструзійні агрегати для виготовлення профільних виробів .....	59
3.15 Штампування поковок з рідкого металу .....	61
3.16 Гідропресування металів .....	64
<b>4 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ .....</b>	<b>67</b>
4.1 Високошвидкісний метод штампування .....	67
4.2 Електрогідравлічне штампування (ЕГШ) .....	70
4.3 Магнітно-імпульсне штампування .....	73
4.4 Ротаційне видавлювання (давильні та розкатні процеси) .....	76
4.5 Накатні і кромкозгинальні операції.....	80
4.6 Штампування осесиметричних деталей еластичним інструментом змінної жорсткості.....	84
4.7 Роздача трубчастих заготовок гумою з осьовим підпором.....	86
4.8 Про можливість впровадження листової витяжки за допомогою скрапленого газу .....	88
4.9 Ударне штампування рідинами та еластичними середовищами .....	90
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>93</b>

## ВСТУП

Поряд з удосконаленням традиційної технології обробки металів тиском (ОМТ) на базі автоматизації виробництва здійснюється пошук, розвиток і вдосконалення нових методів обробки. Деталі машин, споруд й інші вироби сучасної техніки виготовляються, головним чином, із металів та їхніх сплавів на металургійних і машинобудівних заводах.

Застосування окремих нових методів у ОМТ у масовому виробництві економічно недоцільно. Однак в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва, коли традиційні методи ОМТ виявляються недоцільними, частка витрат на технологічне оснащення в структурі собівартості та капітальних вкладень має максимальне значення і сягає 80...95 %.

Основними методами виготовлення металевих деталей і їх напівфабрикатів є лиття, обробка тиском і обробка різанням.

Особливе місце має обробка металів тиском, яка полягає у пластичній зміні форми металу за допомогою його деформування.

Дисципліна «Спеціальні види обробки металів тиском» вивчає технологічні процеси й устаткування для виробництва та обробки виробів з чорних і кольорових металів.

Метою дисципліни є формування базових знань про основи технологічних процесів ОМТ, що застосовуються для виготовлення виробів з чорних і кольорових металів та сплавів на металургійних і машинобудівних підприємствах.

## 1 ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Обробкою тиском називається технологічний процес виготовлення деталей шляхом пластичного деформування вихідного металу прикладанням сил або навантажень [1].

Під дією сил, прикладених до деформованого металу, атоми кристалічної ґратки зміщуються, тобто відхиляються від осей стійкої рівноваги. Якщо зміна відстані між атомами знаходиться в межах параметрів кристалічної ґратки, то після зняття сил атом металу під дією міжатомних сил повертається у початкове положення, і метал відновлює первісну форму. Така деформація називається *пружною*.

Якщо в результаті дії зовнішніх сил атоми кристалічної ґратки зміщуються на значні відстані, що перевищують міжатомні, то після зняття навантаження вони не повертаються у початкове положення, і форма кристала не відновлюється. Така деформація називається *пластичною*. Обсяг металу при пластичній деформації залишається постійним.

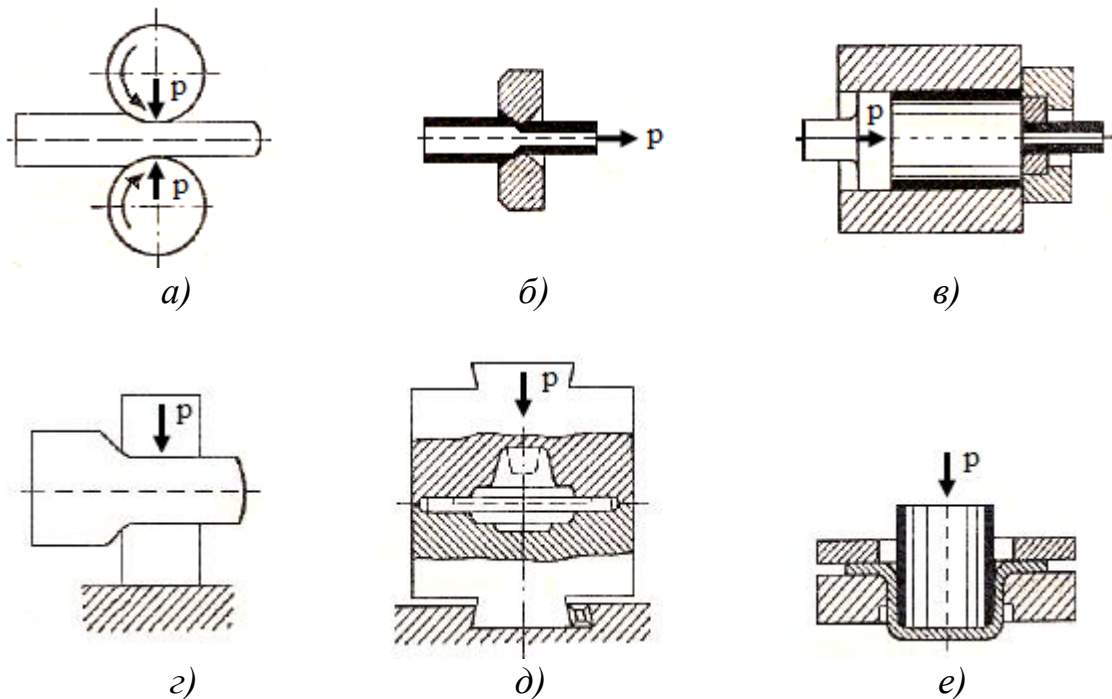
Нагрівання металу збільшує пластичність, тому в гарячому стані потрібно додавати менших сил, ніж у холодному. Зсувні зміщення у пластично деформованій деталі відбуваються по площинах ковзання, відстань між якими 100...200 ангстрем. Зсувне зміщення при деформації здійснюється у тих площинах, де атоми металу найбільш рухливі. Такими зонами в кристалі є зони дислокації. В ядрі дислокації зміщення атомів найбільш значне, під час прикладання зовнішніх сил дислокаційні зміщення викликають нові зміщення (дислокації). Тобто пластична деформація складається з ланцюга послідовних мікрозсувів по різних площинах ковзання. Зрушення під час пластичної деформації відбуваються і між кристалами та зернами. Міжзернисті переміщення зазвичай відбуваються по площинах ковзання під кутом 45°.

Найбільш сприятливий напрямок деформаційних сил створюється під час стискання. Під час пластичної деформації відбувається зміна структури металу. Великі кристали, зерна і т. д. подрібнюються і подовжуються в напрямку течії металу. Неметалеві включення дробляться і витягуються у вигляді ланцюжка. Утворюється волокниста структура, яка спричиняє анізотропію властивостей деформованого металу. Викривлення структури супроводжується виникненням залишкових напруг і зміною властивостей металу. Під час холодного деформування відбувається підвищення твердості та міцності, зменшення пластичності. Зміцнення металу в результаті холодної деформації називається *наклепом*. При певній мірі та глибині наклепу метал настільки втрачає пластичність, що відбувається його руйнування. Тому деформація шляхом холодного деформування може здійснюватися тільки у певних межах.

Під час нагрівання наклепаного металу рухливість атомів збільшується, що спричиняє зародження та зростання нових кристалів з невикривленою структурою, тобто відбувається рекристалізація, у результаті чого метал знеміцнюється і відновлює свої властивості.

Межзернисті кристалічні включення не зазнають рекристалізації, тому волокниста структура металу зберігається. Гарячу обробку виконують при температурі, яка більше температури рекристалізації, тобто вище лінії аустенітного перетворення. Тому пластичне деформування в гарячому стані виконується без обмеження ступеня деформування. Під час нагрівання металу до більш високих температур здійснюється перегрів, при якому метал стає грубозернистим, і його пластичність зменшується. Нагрівання до температур, наближених до температур плавлення, призводить до перевитрат, що пов'язані з окисленням металу (метал втрачає пластичність та руйнується).

Основними видами обробки тиском є прокатка, волочіння, пресування, кування, гаряче об'ємне штампування, листове штампування й інші (рис. 1.1).



*a – прокатка; б – волочіння; в – пресування; г – вільне кування;  
д – гаряче об'ємне штампування; е – листове штампування*

*Рисунок 1.1 – Основні способи обробки металів тиском*

### **Питання для самоконтролю**

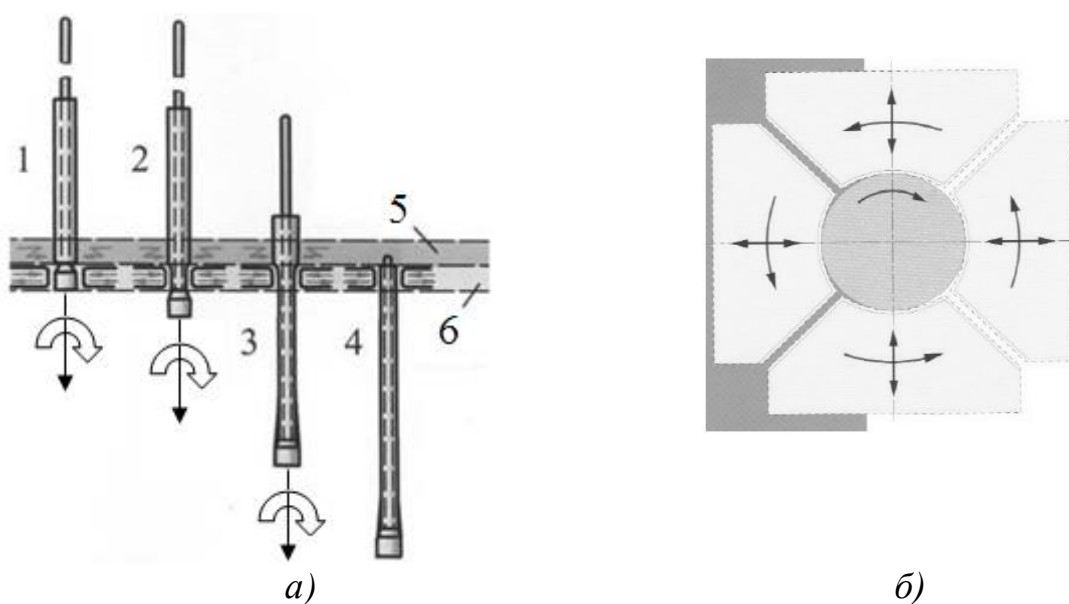
- 1 Дайте визначення процесу обробки тиском.
- 2 Яка різниця між пружною та пластичною деформаціями?
- 3 Чим характеризується пластична деформація?
- 4 Переваги та недоліки холодного та гарячого деформування.
- 5 У результаті чого метал зміцнюється та відновлює свої властивості?
- 6 Температурні інтервали нагрівання.
- 7 Основні види обробки металів тиском.

## 2 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСУ КУВАННЯ

### 2.1 Ротаційне кування

Ротаційне кування – це метод для точного деформування труб, прутків і дротів. Він є одним з ротаційних методів формування, які виділяються тим, що остаточний контур деформованих деталей отримують з мінімальною подальшою обробкою різанням або взагалі без неї [2].

При ротаційному куванні інструменти деформування сконцентровані навколо виробу. Інструменти переміщуються з високою частотою і маленьким ходом (довбають). Частота ходу становить, залежно від типу машин, від 1 500 до 10 000 ударів за хвилину, при цьому довжина ходу змінюється від 0,2 до 5 мм. Схема ротаційного кування зображена на рисунку 2.1.



1 – розігрів струмами високої частоти; 2 – початок кування;  
3 – процес кування; 4 – закінчення кування;  
5 – зона нагріву струмами високої частоти; 6 – зона кування  
а – етапи ротаційного кування; б – поперечний переріз

Рисунок 2.1 – Схема ротаційного кування

Інструменти діють, як правило, одночасно. Набір інструментів складається, в більшості випадків, з чотирьох сегментів. Іноді використовуються набори із двома, і вісьмома сегментами.

Для запобігання затікання матеріалу в зазори між сегментами необхідно обертання інструменту над виробом або обертання виробу під інструментом. Для виготовлення несиметричних деталей відносного обертання не потрібно.

Ротаційне кування є інкрементальним методом, тобто деформація відбувається багатьма маленькими кроками. Інкрементальні методи мають переваги перед безперервним методом, тому що вони дозволяють більш

однорідне деформування матеріалу. Крім того, ротаційне кування дозволяє більшу ступінь деформації, тому що потенціал зміни форми матеріалу використовується по всьому поперечному перерізу.

Друга перевага інкрементальної деформації полягає в тому, що тертя мінімізується. Інструмент має короткочасний контакт із заготовкою. Під час цього контакту відбуваються зовсім маленькі зрушення між деталлю й інструментом. Сила компенсується еластичністю виробу. Тому для деформації ротаційним куванням достатньо змащення маслом у закритому циклі, що дозволяє стабілізувати температуру і очищати робочу зону.

***Переваги ротаційного кування:***

***- результат близький до кінцевого виробу, точність відповідає кресленню.***

Забезпечувані допуски до того малі, що найчастіше не потрібна додаткова обробка різанням. Унаслідок цього можна економити матеріал і вкоротити ланцюг процесу, що знижує собівартість виробу;

***- високий потенціал зображення образу, оптимізування ваги.***

Ротаційне кування дозволяє реалізовувати різноманітний спектр форм як зовні, так і всередині. Економія ваги у деталей, виготовлених ротаційно-кувальним способом, становить в середньому від 30 до 50 % у порівнянні зі звичайним виготовленням;

***- якісні деталі.***

Ротаційне кування забезпечує безперервний хід волокон у матеріалі заготовки. Холодне зміцнення (наклеп) за допомогою деформування підвищує міцність деталей. Якість поверхні після ротаційного кування можна порівняти з шліфованими поверхнями;

***- високі ступені деформації, обробка крихких матеріалів.***

Ротаційно-кувальним способом можна досягти високих ступенів деформації без нагрівання деталей. Цей спосіб придатний для деформації навіть крихких матеріалів, що пояснюється «вдалим» тензором напружень під час деформування і постійним плином деформування;

***- формування холодного і теплого вигляду.***

Завдяки поступовому введенню заготовки в робочу зону, цей метод можна використовувати в холодному, напівгарячому і гарячому температурному інтервалі;

***- екологія.***

На противагу більшості методів формування, при ротаційно-кувальних методах виробу не потребують шарів додаткового змащення. Охолоджуюче мастило знаходиться в закритому циклі;

***- висока швидкість переналагодження.***

Ротаційно-кувальні верстати можна швидко переоснащувати. Заміна інструментів і налагодження на нові деталі триває, як правило, кілька хвилин;

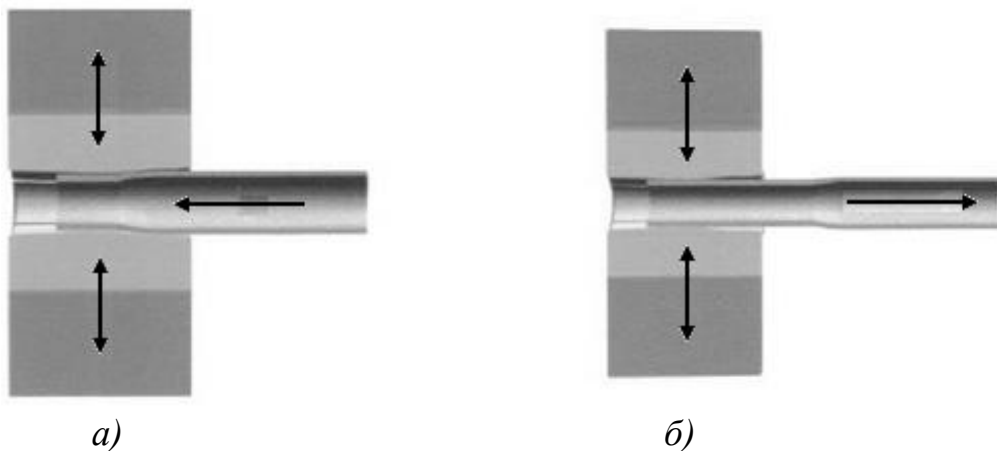
***- короткі такти, висока готовність.***

Горизонтальне розташування і відносно низька площа установки кувальних вузлів дозволяє комбінування в ефективні лінії, на яких виготовляються великі серії в декілька змін. Міцний спосіб побудови, який не вимагає великого догляду, гарантує високу продуктивність.

## 2.2 Ротаційне кування з подачею

Труба-заготовка безперервно подається уздовж осі крізь зону дії осцилюючих інструментів. Найбільша частина роботи формування виконується в одному конусі, наступний циліндр калібрує виготовлений поперечний переріз.

Подача відбувається у вигляді пульсації, коли інструменти не мають контакту з трубою-заготовкою. Таким способом можна формувати деталі з будь-якою довжиною. У голівці, яка редукується, між штовхачем і інструментом знаходиться пластина для калібрування. Цим методом можна створювати перехідні конуси до  $10^\circ$ . Схема ротаційного кування з подачею зображена на рисунку 2.2.



*а – до інструмента; б – від інструмента*

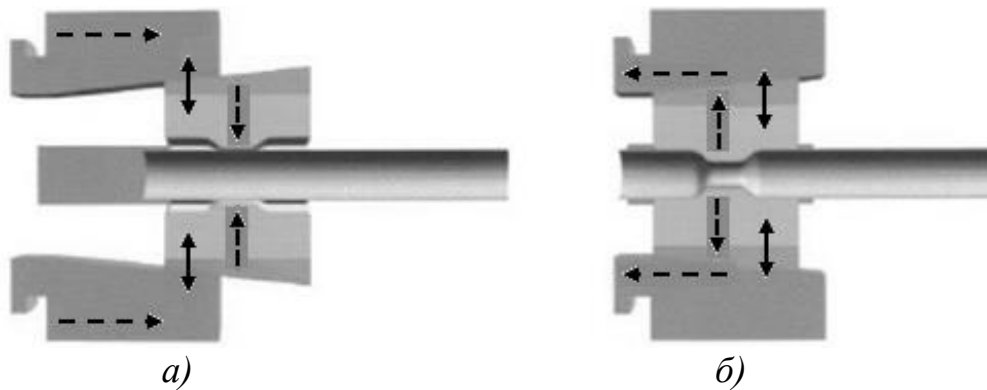
Рисунок 2.2 – Схема ротаційного кування з вертикальною подачею

## 2.3 Врізне ротаційне кування

При врізному ротаційному куванні інструменти виконують, крім радіальної осциляції, ще й радіальну подачу. Конусні кути виробу при цьому можуть бути набагато крутіші, ніж при простому ротаційному куванні з подачею. Таким чином, метод дозволяє зменшити відстань двома кінцями виробу.

Робота деформування виконується в конусі і в циліндрі. Тому сила деформування і навантаження на машину більше. Довжина зони формування при врізанні обмежена довжиною інструментів або силою, яка виникає.

Ротаційно-кувальний врізний верстат завжди можна використовувати як звичайний ротаційно-кувальний верстат з подачею. Ці два методи можна комбінувати, тобто додатковим рухом до радіальної подачі інструментів є подача виробу в осьовому напрямку. У підсумку можна використовувати канавки різної довжини. Схема ротаційного кування з подачею зображена на рисунку 2.3.



*а – початкова стадія кування; б – кінцева стадія кування*  
*Рисунок 2.3 – Схема ротаційного кування з комбінованою подачею*

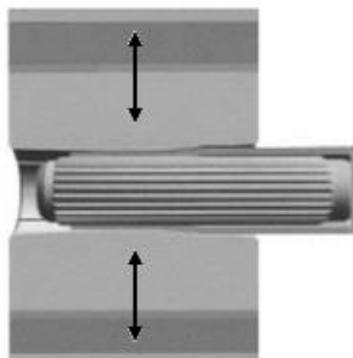
## **2.4 Ротаційне кування без внутрішнього інструменту (оправки, дорна)**

Матеріал тече при контакті інструментів в радіальному і осьовому напрямку. У результаті збільшується товщина стінки і відбувається подовження виробу при зменшенні зовнішнього діаметра. Зміну товщини стінки при вільному радіальному перебігу матеріалу можна обчислити.

## **2.5 Ротаційне кування на оправці**

У випадку, коли внутрішні розміри при формуванні підлягають певним формам або допускам, можна застосовувати оправлення (дорн). З його допомогою реалізуються отвори з вузьким допуском. Оправка може бути циліндрична, конічна або з уступом.

Також можна виготовляти внутрішні профілі, наприклад, різні форми зубчастого зчеплення, внутрішні шестигранники, профілі з різьбленням і т. д. Схема ротаційного кування на оправці зображена на рисунку 2.4.



*Рисунок 2.4 – Схема ротаційного кування на оправці*

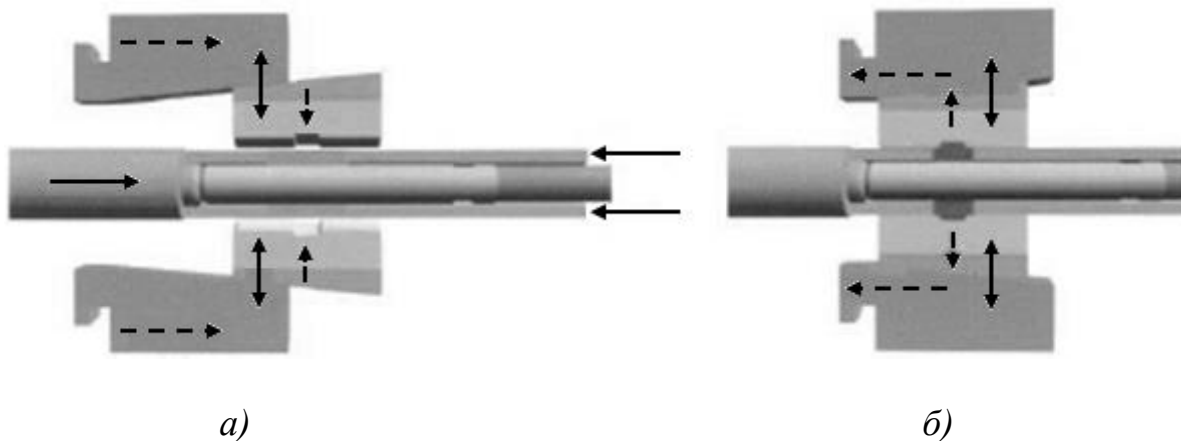
## 2.6 Ротаційне кування за допомогою ЧПК

Подача виробу та інструменту, пересування інструментів і дорна управляються програмою, що дозволяє здійснювати рух за різними режимами всередині і зовні виробу.

## 2.7 Висадка ротаційно-кувальним методом

При висадці ротаційно-кувальним методом труба частково нагрівається перед ковкою, щоб створити певну зону зі зниженою границею текучості. До типового ротаційного кування приєднується осьова сила.

Цим способом можна частково спрямовувати матеріал назовні або всередину і збільшувати товщину стінок і поперечний переріз. Схема висадки ротаційно-кувальним методом зображена на рисунку 2.5.



*а – початкова стадія кування; б – кінцева стадія кування  
Рисунок 2.5 – Схема висадки ротаційно-кувальним методом*

### Питання для самоконтролю

- 1 Дайте визначення поняттю ротаційне кування.
- 2 Що відбувається в процесі ротаційного кування?
- 3 Переваги ротаційного кування.
- 4 Види ротаційного кування.
- 5 Для чого служить оправка при ротаційному куванні?

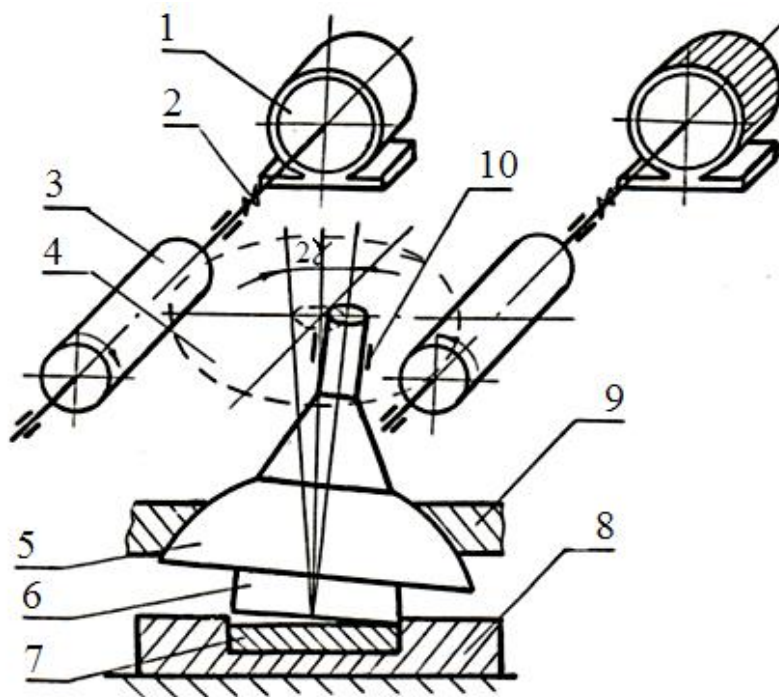
### 3 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСУ ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ

#### 3.1 Виготовлення заготовок штампуванням обкочуванням

За останній час значний розвиток отримав такий метод локальної обробки металів тиском, як штампування обкочуванням (ШО), який включає процеси сферорухомого штампування і торцевого розкочування [3].

Перспективність методу ШО обумовлена тим, що локалізація вогнища деформації і сприятливі умови деформування на контакті інструменту із заготовкою дозволяють істотно знизити силу деформування і потужність обладнання в порівнянні з традиційним штампуванням. Це надає змоги обробляти тиском у холодному стані сталі і сплави для отримання виробів складного профілю з розвиненими тонкостінними елементами, що важко здійснювати іншими методами ОМД.

Процес сферорухомого штампування здійснюється на сферорухомому пресувачі, кінематична схема якого зображена на рисунку 3.1.



1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – черв'як  
4 – черв'ячне колесо; 5 – водило; 6 – пуансон-валок  
7 – заготовка; 8 – матриця; 9, 10 – підшипники

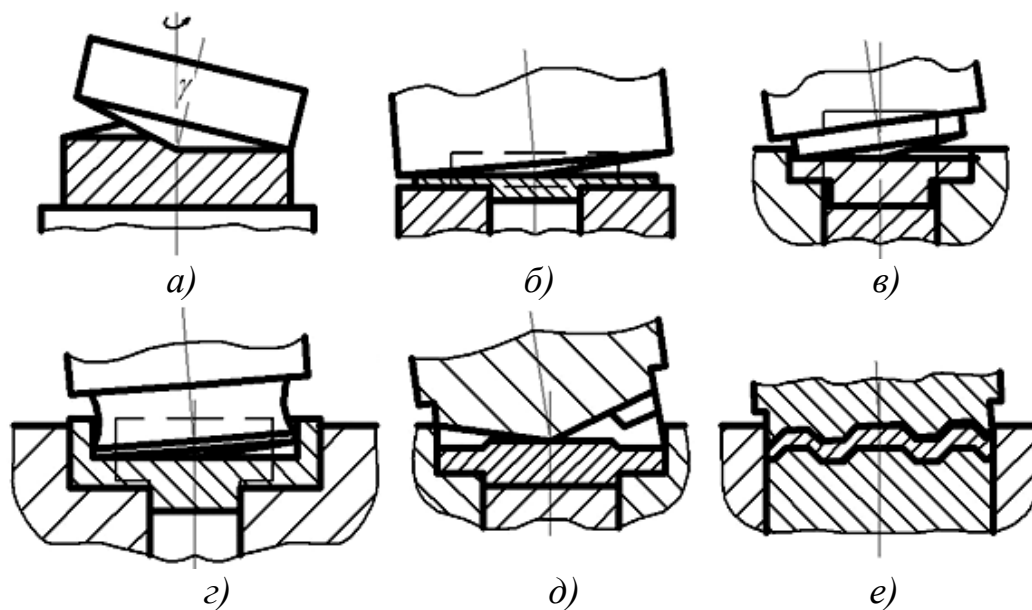
Рисунок 3.1 – Кінематична схема сферорухомого механізму

Особливістю сферорухомого штампування є те, що пуансон при дії на заготовку отримують одночасно два рухи: поступальний від повзуна

преса і круговий від приводу механізму. При цьому заготовка залишається нерухомою, а пуансон своєю конічною поверхнею обкатує її торцеву частину.

Треба зазначити такі особливості сферорухомого штампування в порівнянні з осадкою плоскопаралельними плитами: площа поверхні контакту інструмента з заготовкою зменшується в 2,4...4,6 рази залежно від ступеня обтиснення за один оборот інструменту і радіуса заготовки; тиск на поверхні контакту заготовки і нижньої матриці змінюється від мінімального значення в центрі до максимального поблизу зовнішнього контуру заготовки, при цьому максимум зміщується в бік руху пуансона в окружному напрямку; максимальні сили зменшуються в 4,3...13,5 разів, при чому зі збільшенням ступеня деформації подачі інструменту ефект зниження сили зменшується; підвищується якість поверхні заготовок, зменшується викривлення форми циліндричних заготовок за рахунок виключення бочкоутворення опуклості в центральній частині заготовки; при рівних ступенях обтиску спостерігається збільшення ступеня деформації і твердості від центра заготовки до периферії.

Зараз розроблені і впроваджені у виробництво такі процеси сферорухомого штампування, як: осадка і висадка, пряме, зворотне і комбіноване видавлювання, формування зубчастого профілю, рельєфна формовка і деякі операції листового штампування. Основні з схем сферорухомого штампування наведено на рисунку 3.2.



*a – осадка; б – висадка; в – висадка з обмеженням уширення;  
 г – комбіноване видавлювання;  
 д – видавлювання зубчастого профілю на торці;  
 е – рельєфна формовка*

*Рисунок 3.2 – Схеми сферорухомого штампування*

### Питання для самоконтролю

- 1 Основна задача ротаційної обробки.
- 2 Переваги та недоліки процесу розкочування.
- 3 Форма та розміри інструменту та заготовок для розкочування.
- 4 Деталі, отримані в результаті розкочування.
- 5 Кінематичні схеми сферорухомого механізму та штампування.
- 6 Особливість сферорухомого штампування.
- 7 Перспективність методу ШО.

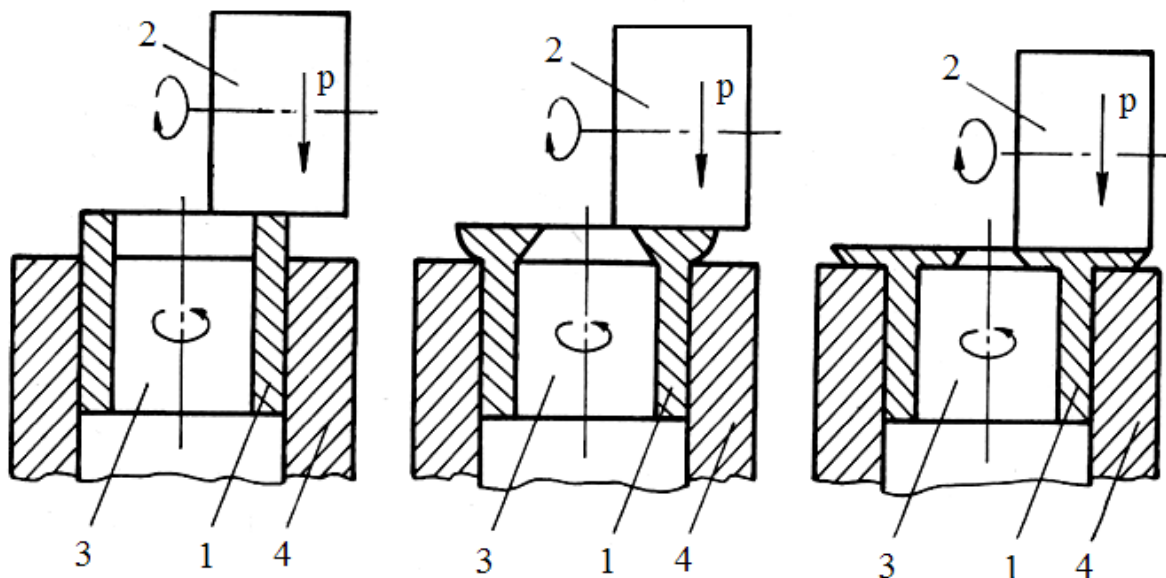
### 3.2 Торцеве розвальцювання кільцевих деталей

Процеси торцевого розвальцювання дозволяють формувати зовнішні, внутрішні і торцеві поверхні порожніх і суцільних металевих заготовок. Точність розмірів отримуваних деталей відповідає 8...11-му квалітетам, а шорсткість поверхонь  $Ra = 5...0,63$  мкм. Висока точність обробки забезпечує зменшення витрати металу, а також зниження трудомісткості деталей. Низька вартість оснащення, незначний час підготовки виробництва, використання обладнання відносно не великої потужності при виготовленні великогабаритних деталей надають змоги застосовувати процеси торцевої розкатки і в дрібносерійному виробництві.

Торцеве розвальцювання сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, забезпечує оптимальне розташування волокон металу, що підвищує експлуатаційні властивості отримуваних деталей. Наприклад, застосування холодного розгортання при виробництві кілець підшипників дозволило збільшити їх строк служби на 28 %. Крім того, вона дозволяє механізувати і автоматизувати виробництво, здійснювати обробку за схемами: осадки, висадки, прямого, зворотного і комбінованого видавлювання.

Зараз освоєні технологічні процеси розвальцювання деталей зі сталей ШХ15, ШХ15СГ, 40Х, 45, 20, 12Х18Н10Т, 30ХГСА, 12Х2Н4А, сплавів 411435, Д16 і інших матеріалів.

Принципова схема торцевого розвальцювання наведена на рисунку 3.3. На торець кільцевої заготовки, що обертається, з силою  $P$  діє циліндричний вільнообертаючийся валок. У результаті за кожен оберт заготовки буде відбуватися осадка заготовки, що виступає з матриці, на деяку одиницю обтиснення. Якщо течія металу, що деформується, в радіальному напрямку не обмежена, то через декілька обертів формується деталь Т-подібного перерізу. Величина одиничного обтиснення визначається необхідним ступенем деформації, а також механічними характеристиками матеріалу деталі і може змінюватися від 0,2 до 1,0 мм. Кінцеве оформлення деталі в більшості випадків відбувається за 10...30 обертів. Розмір зовнішнього бурта при цьому більше внутрішнього, тому що опір утворенню внутрішнього бурта більше, ніж опір утворенню зовнішнього.



1 – заготовка; 2 – циліндричний валок, що деформує;  
3 – оправка; 4 – матриця

Рисунок 3.3 – Послідовність холодного торцевого розвальцювання кільцевої деталі з T-подібним буртом

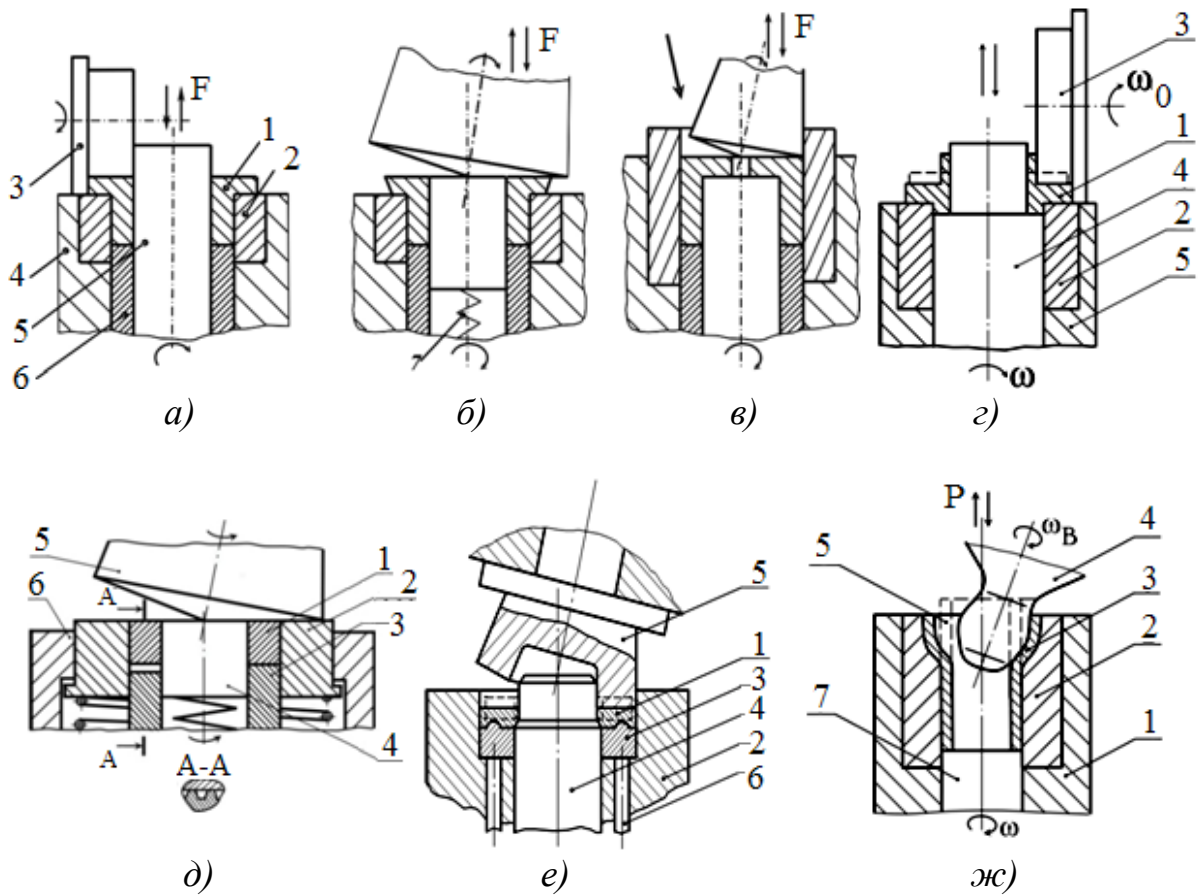
Спосіб ротаційної локальної обробки, при якому деформування оберткової вісесиметричної заготовки здійснюють валками, що поступально переміщуються, розташованими з торців заготовки, прийнято називати торцевим розвальцюванням.

На рисунку 3.4 зображені схеми торцевого розвальцювання з використанням циліндричного і конічного розкочувальних валків.

Розташування осі оброблюваної заготовки під регульованим кутом щодо осі деформуючого інструменту і можливість їх відносного зсуву в площині контакту дозволяють ще більшою мірою, ніж при сферорухомому штампуванні, локалізувати вогнище деформації і знижувати силу деформування. Управління за допомогою зазначених прийомів активними силами тертя на контактні валка із заготовкою сприяє підвищенню точності обробки.

У якості вихідних заготовок при торцевому розвальцюванні використовуються відрізки вісесиметричного прокату, зварювальноштамповані, литі, спечені порошкові заготовки, а також заготовки, безвідходно відокремлені від смуги або аркуша.

Процес торцевого розвальцювання може бути реалізований як з приводом від заготовки, так і з приводом від валка. У більшості обладнання передбачений привід обертання заготовки, а вільно обертаючий валок, який переміщується від гідроприводу уздовж осі заготовки, створює необхідну силу розкочування. За допомогою циліндричного валка обробляють торцеві і зовнішні окружні поверхні заготовок, здійснюючи операції висадки, осадки, редукування та їх поєднання.



1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – розкочувальний валок;  
 4 – шпиндель; 5 – оправка; 6 – виштовхувач;  
 а, б – висадка зовнішнього бурта; в – висадка внутрішнього бурта;  
 г – висадка і зворотне видавлювання;  
 д – пряме видавлювання зубчастої поверхні;  
 е – осадка-калібрування; ж – роздача-калібрування  
 Рисунок 3.4 – Схеми торцевого розвальцювання циліндричним  
 і конічним валками

Розвальцювання конічним валком розширює можливості методів ШО і дозволяє здійснювати деформування за схемами висадки, осадки, прошивки, прямого і зворотного видавлювання, роздачі і відбортовки трубоччастих заготовок, переформування, ротаційного видавлювання та ін.

Отримувані деталі – вісесиметричні деталі типу тіл обертання, гладкі, з глухою порожниною, що мають розвинений фланець (рис. 3.5).

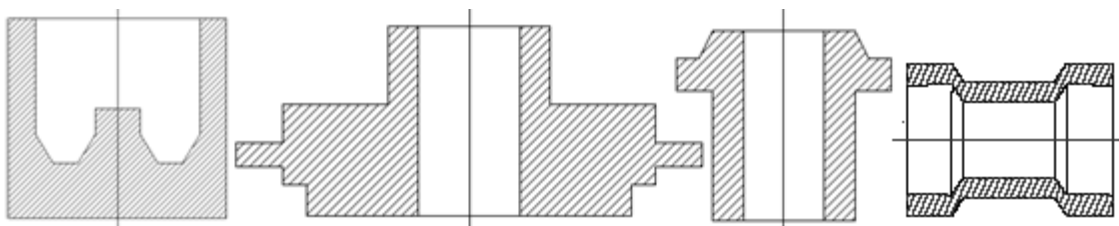


Рисунок 3.5 – Деталі, виготовлені торцевим розвальцюванням

### Питання для самоконтролю

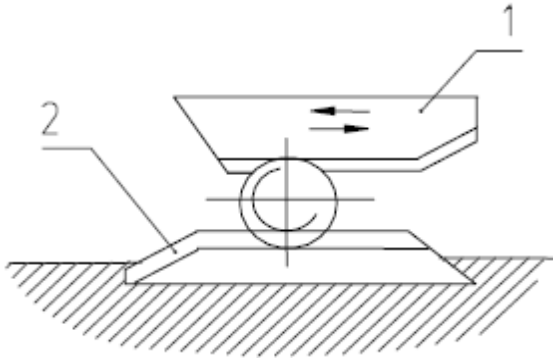
- 1 Основна задача ротаційної обробки.
- 2 Переваги та недоліки процесу розвальцювання.
- 3 Форма та розміри інструменту та заготовок для розвальцювання.
- 4 Деталі, отримані в результаті розвальцювання.
- 6 Особливість сферорухомого штампування.
- 7 Перспективність методу ШО.
- 8 Точність розмірів деталей, отримуваних торцевим розвальцюванням.
- 9 Схеми, за якими торцеве розвальцювання дозволяє здійснювати обробку.
- 10 Матеріали, що застосовується для торцевого розвальцювання.
- 11 Принципова схема розвальцювання.

### 3.3 Накатування різі і профілей

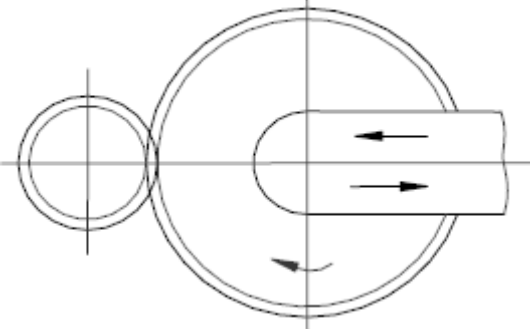
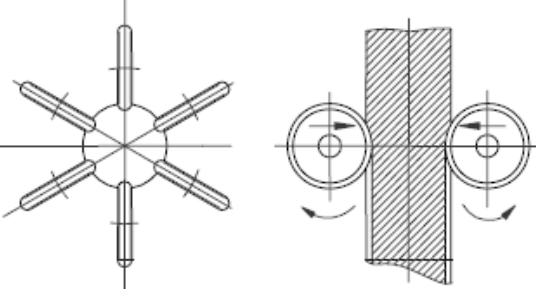
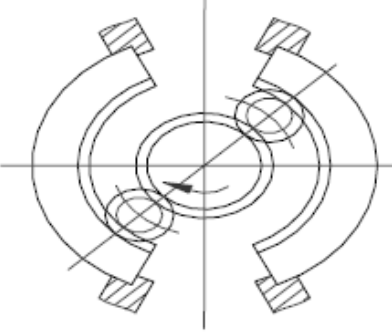
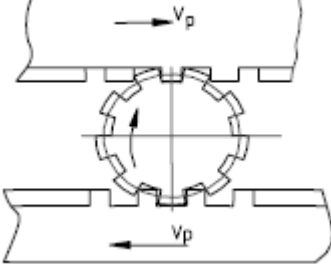
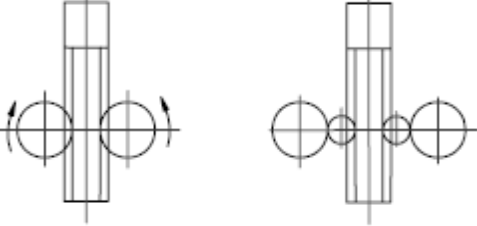
Накатування – утворення на заготовці різі або дрібних рифлень безперервним впливом інструменту. Деформаційне зміцнення поверхневого шару при накатуванні і волокниста будова структури металу підвищують циклічну міцність таких з'єднань приблизно в 1,6 разів у порівнянні з нарізкою.

Методи накатування знаходять широке застосування не тільки при формоутворенні різної різі на суцільних і порожнистих заготовках кріпильних деталей, але і при отриманні різних профілів на деталях типу валів і осей, шліцьових з'єднань, черв'яків і гвинтів, зубчастих деталей, отриманих обробкою різанням, та при калібруванні (редагуванні) щодо довгих виробів. Технологічні схеми накатки подані у таблиці 3.1 [4, 5].

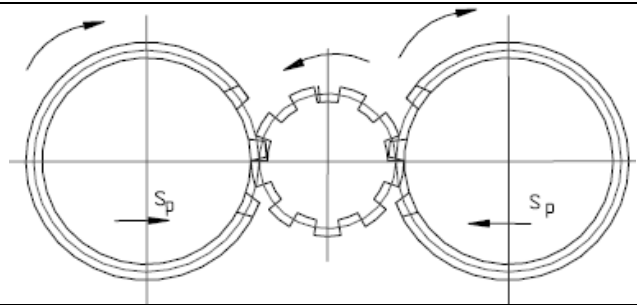
Таблиця 3.1 – Технологічні схеми накатки

Метод накатування	Схема накатування	Основні особливості
Плоским інструментом з тангенціальною подачею		Спрощується автоматизація процесу накатування. Універсальність. Діапазон діаметрів накатування різі 1,5...33 мм. Зниження стійкості зі збільшенням маси

Продовження таблиці 3.1

Метод накатування	Схема накатування	Основні особливості
З радіальною подачею одним роликом з гвинтовим накатуванням		Підвищення довговічності, підвищення продуктивності праці в порівнянні з фрезеруванням і нарізуванням в 12...15 разів. Биття накаток
Поздовжнє накатування багатороликової голівки: з радіальною подачею роликів		Наскрісні шліці на жорстких валах
З тангенціальною подачею: різенакатувальними сегментами, які обертаються (рухомими і нерухомими)		Висока продуктивність при ручному завантаженні. Продуктивність підвищує в 3...5 разів. Трудомістке суміщення, складність виготовлення нарізного сегмента
Плоскі зубчасті рейки		Наскрісні і закриті шліці евольвентного і трикутного профілів
Ударне накатування обертовими роликами		Наскрісні і закриті шліці будь-якого профілю

Продовження таблиці 3.1

Метод накатування	Схема накатування	Основні особливості
Зубчастими роликами з радіальною подачею інструменту (поперечне накатування)		Наскрізні і закриті шлиці і зубчасті колеса евольвентного і трикутного профілів
Поперечно-гвинтова прокатка зубами	Зубчасті ролики з гвинтовими формоутворними	Наскрізні і закриті шлиці евольвентного і трикутного профілів, накатування напрохід

**Питання для самоконтролю**

- 1 Області застосування накатування різі та профілів.
- 2 Методи накатування та їх основні особливості.

**3.4 Накатування зубчастих профілей**

Накатування застосовують як остаточну операцію обробки зубчастого вінця при виробництві зубчастих коліс 15...16 квалітетів точності з модулем не більше 4 мм. При накатуванні економиться 15...30 % металу, трудоемність процесу менша в 2...5 разів, втомна міцність підвищується на 15...20 %, міцність при вигині збільшується на 20...40 %. Температура накатування – 1 000...1 100 °С [4].

Суть методу: заготовка нагріта в індукторі, накатується профіль між двома зубчастими колесами-інструментами, встановленими на певну міжцентрову відстань.

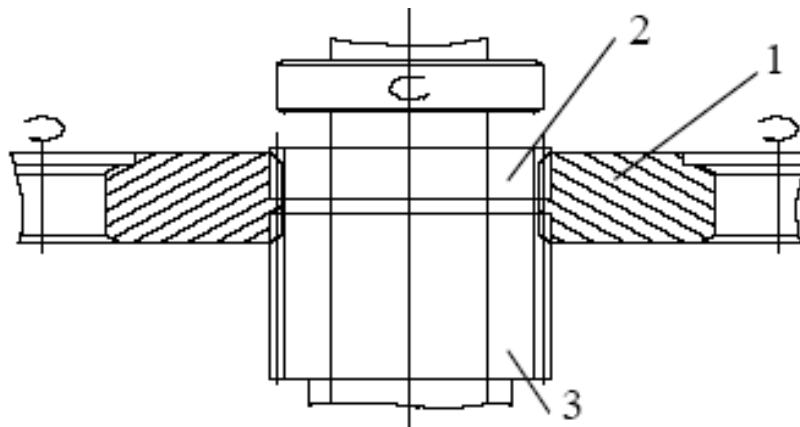
Технологічний процес здійснюється двома парами валів: одна пара – гладка, інша – зубчаста. Зубчастий і гладкий валок насаджені на загальний вал так, що зубчастий валок знаходиться вище гладкого.

Заготовку затискають гідравлічним пристроєм і розташовують проти гладких валків.

Після нагріву заготовки валки зближують і здійснюють обкатку обода, надаючи йому точні розміри за діаметром і шириною. Далі валки розводять заготовку, встановлюють її проти зубчастих валків, після чого на неї здійснюють накатку зубів. Під час прокатування і накатування на валки подається мастило.

Виготовлення циліндричних прямозубих і косозубих коліс з модулем 1,5...3 мм і діаметром  $\leq 250$  мм здійснюється за накатуванням з осьовою подачею заготовки (рис. 3.6). Для виготовлення великогабаритних коліс із значним модулем використовується накатування з радіальною подачею валків (рис. 3.7). Заготовками служать штамповані чи відрізані від прутка дискові заготовки.

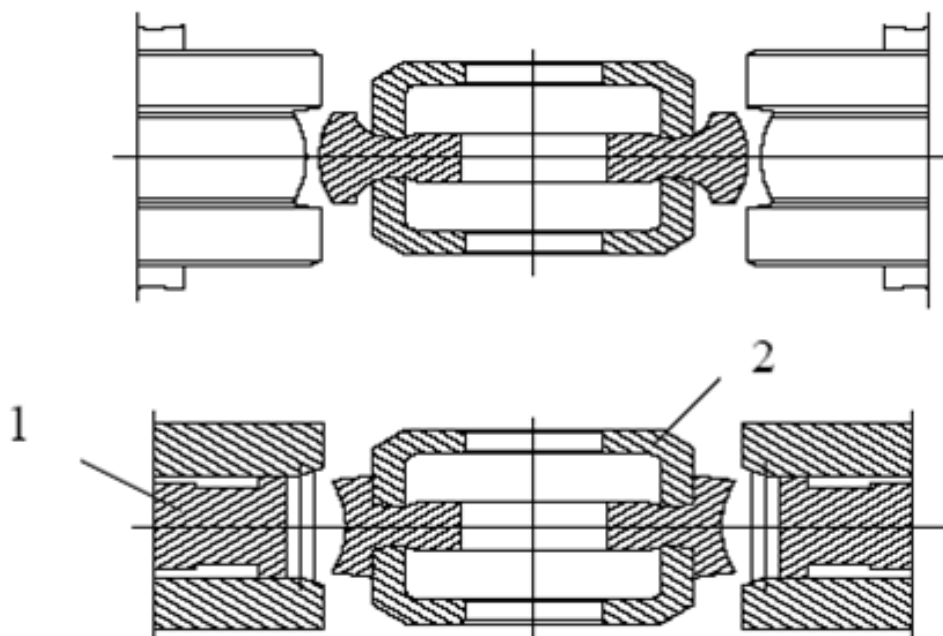
Переваги цього процесу полягають у збільшенні продуктивності (в 5...10 разів), підвищенні довговічності зубців за рахунок сприятливого розташування волокна і зниження витрати металу.



*1 – зубчасте колесо (інструмент);*

*2 – еталонна шестерня; 3 – заготовка*

*Рисунок 3.6 – Схема накатування шестерень з осьовою подачею заготовки*



*1 – зубчасте колесо (інструмент); 2 – заготовка*

*Рисунок 3.7 – Схема накатування зубчастих коліс з радіальною подачею валків*

А також розроблені і починають освоюватися способи накатування зубчатих профілів на циліндричних заготовках для формування внутрішніх (рис. 3.8, а) і зовнішніх (рис. 3.8, б) профілів, а також одночасно зовнішніх і внутрішніх профілів на заготовках кілець планетарного механізму (рис. 3.8, в).

Особливістю нових способів є розташування накатних роликів 1 в кільцевий зазор між зовнішнім 5 і внутрішнім 3 еталонними зубчатыми кільцями, що забезпечують синхронізацію положення роликів у радіальному і тангенціальному напрямках. Заготовку кілець з внутрішнім 6 і зовнішнім 4 профілями розташовують співвісно еталонним кільцям. Осьове переміщення накатних роликів здійснюється опорним корпусом 8. Накатка профілю відбувається обертанням обойми 7 з закріпленими в ній зовнішніми заготовками і еталонним кільцем або обертанням осі 2 з розміщеними на ній внутрішньою заготовкою і еталонним кільцем.

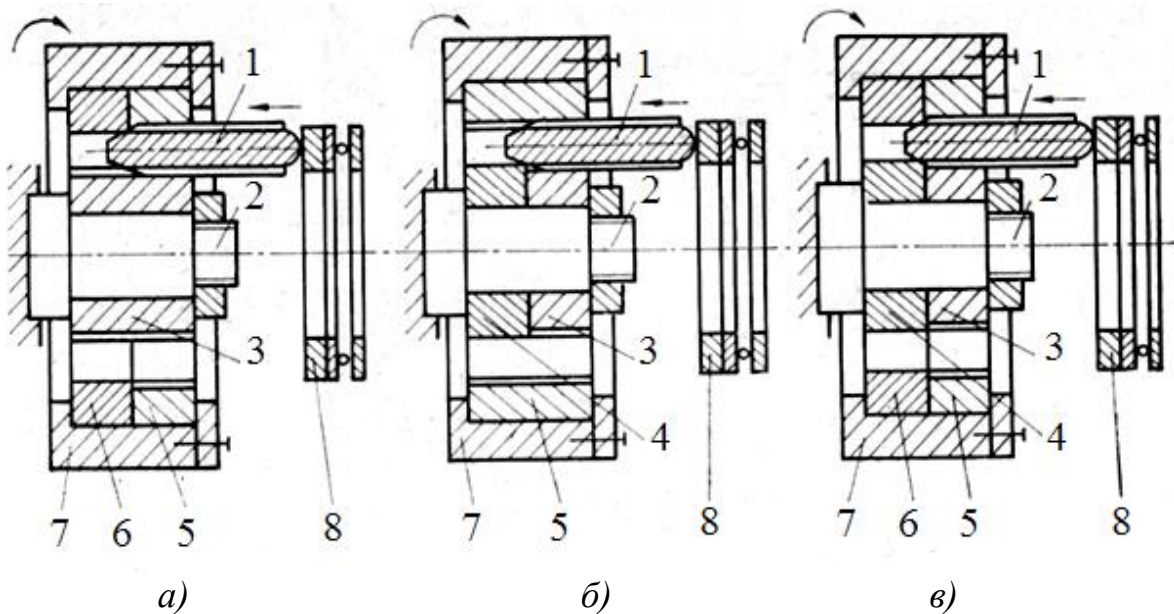


Рисунок 3.8 – Спосіб накатування зубчатих профілів

Розглянуті способи накатування мають низку переваг: радіальна сила її компенсується еталонним кільцем або парою заготовок, що перешкоджає відведенню ролика в радіальному напрямку і забезпечує постійність точності і якості накатного профілю за всією довжиною; само встановлення накатних роликів дозволяє не висувати високих вимог до точності їх кріплення на опорному корпусі; наявність еталонних кілець сприяє отриманню накатного профілю з високою точністю шагу; забезпечується можливість одночасного накатування профілів на заготовках, кінематично зв'язаних у робочому механізмі.

На рисунку 3.9 подана форма деталі з накатаними зубцями.



*Рисунок 3.9 – Деталі з накатаними зубцями*

### **Питання для самоконтролю**

- 1 Для чого застосовують операцію накатування зубчастих профілів?
- 2 Послідовність процесу накатування зубчастих профілів.
- 3 Що служить в якості заготовок для накатування?
- 4 Перевага процесу накатування зубчастих профілів.
- 5 Що використовують для виготовлення великогабаритних коліс з модулем? Що є заготовками?
6. Схема накатування зубчастих профілів.
7. Особливість способу.
8. Переваги нового способу.

### **3.5 Розвальцювання кільцевих заготовок**

Розвальцювання кільцевих деталей (заготовок) – технологічна операція формозміни, за допомогою якої проводиться одночасне збільшення зовнішнього діаметра і діаметра отвору кільцевого напівфабрикату (поковки) за рахунок зменшення товщини його стінки, при цьому може бути також змінена форма поперечного перерізу кільця [5, 6, 13].

Розвальцювання здійснюється в процесі деформування валками на спеціалізованих кільцях розкочувальних машин і застосовується при виготовленні кільцевих деталей діаметром від 50...70 мм до 7 000 мм, шириною відповідно від 5...7 мм до 1 200 мм і масою від декількох десятків грамів до 12,5 т.

Залежно від поставлених завдань, габаритів виготовлених деталей, марки матеріалу та інших умов розкатку виконують в гарячому, напівгарячому або холодному станах.

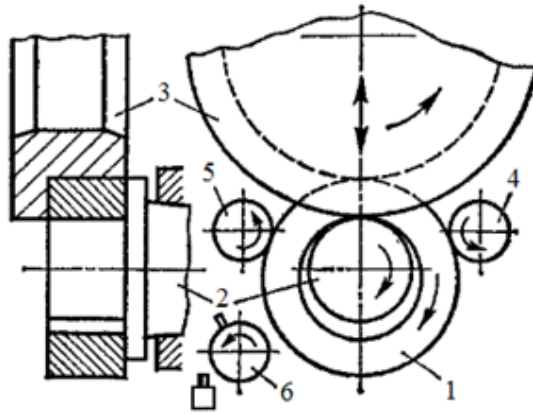
### 3.5.1 Способи розвальцювання

За схемами формозміни розвальцювання кільцевих заготовок умовно поділяють на відкриту, напіввідкриту, закриту і напівзакриту. Найбільш поширеною є відкрите розвальцювання (рис. 3.10, а). Вихідна заготовка (напівфабрикат) 1 поміщається між двома валками 2 і 3, один з яких (зазвичай зовнішній) є привідним, а другий обертається за рахунок сил тертя від контакту з заготовкою. Один з валків (нажимний) має зворотно-поступальне переміщення, при своєму робочому ході впливаючи на заготовку із силою, необхідною для її деформування. Збільшуючись у діаметрі, заготовка протягом усього процесу деформування стикається з двома направляючими валками 4 і 5, які вільно обертаються і притискаються до неї з певною силою, запобігаючи зміщенню центра заготовки від осі центрів валків розвальцювання 2 і 3, усуваючи вібрації і забезпечуючи правильну геометричну форму кільця. При розкочуванні з невеликими ступенями сумарної деформації два рухомих опорних валка 4 і 5 можуть бути замінені одним нерухомим (правим), що виконує ті ж функції. У процесі розвальцювання з заготовкою контактує контрольний ролик 6, який при досягненні зовнішнього діаметра подає сигнал на відведення натискного валка 3 в початкове положення, після чого заготовка може бути вилучена з валка 2.

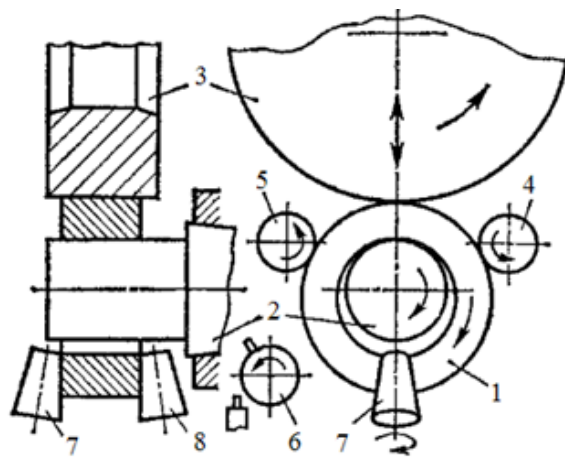
Напіввідкрите розвальцювання (рис. 3.10, б) відрізняється від відкритого тим, що за допомогою пари привідних або холостих торцевих конічних валків 7 і 8 проводиться обтиснення заготовки в осьовому напрямку і обробка її торців. У процесі розвальцювання при поступовому зближенні торцевих валків досягається задана деформація за шириною заготовки. У деяких випадках відстань між осями пари конічних валків у процесі розвальцювання не змінюється, і вони лише перешкоджають природному уширенню, забезпечуючи опрацювання торців заготовки і усуваючи утяжини, зумовлені нерівномірністю уширення в поздовжньому перерізі заготовки.

Застосування примусового зближення в процесі розвальцювання торцевих валків дозволяє більш інтенсивно перерозподілити метал і одержати більш складні форми поперечних перерізів у кільцевих заготовках.

Закрите розвальцювання (рис. 3.11), на відміну від попередніх способів, здійснює формозміну заготовки прокаткою між внутрішнім валком 2 і зовнішнім порожнистим валком 3. Радіальне обтиснення заготовки досягається примусовим зближенням осей внутрішнього і пустотілого валків. Процес формозміни продовжується до того моменту, поки зовнішній діаметр заготовки 1 не прийме розмір діаметра отвору пустотілого валка, а товщина її стінки не досягне заданої. Після цього вихідне положення осей валків відновлюється, а заготовка видаляється з порожнього валка виштовхувачем 4.

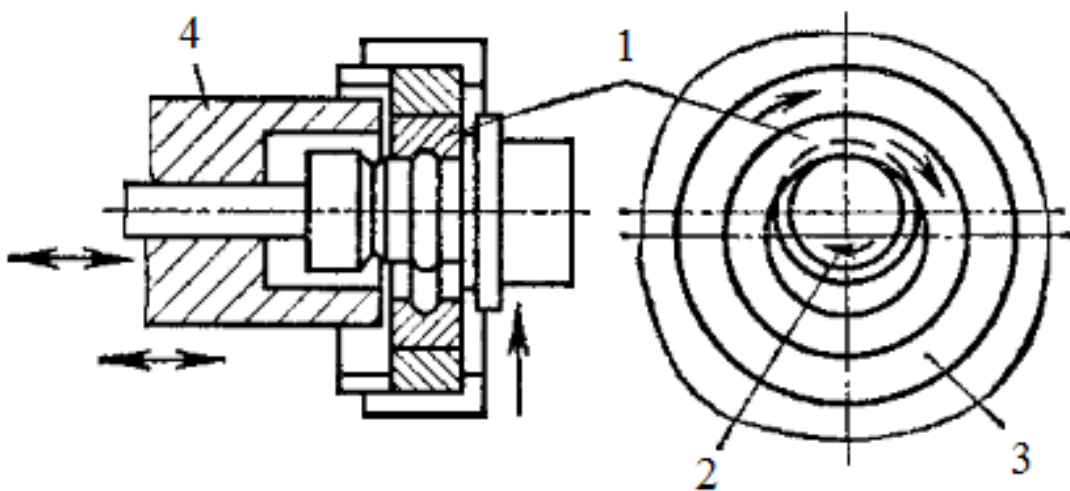


a)



б)

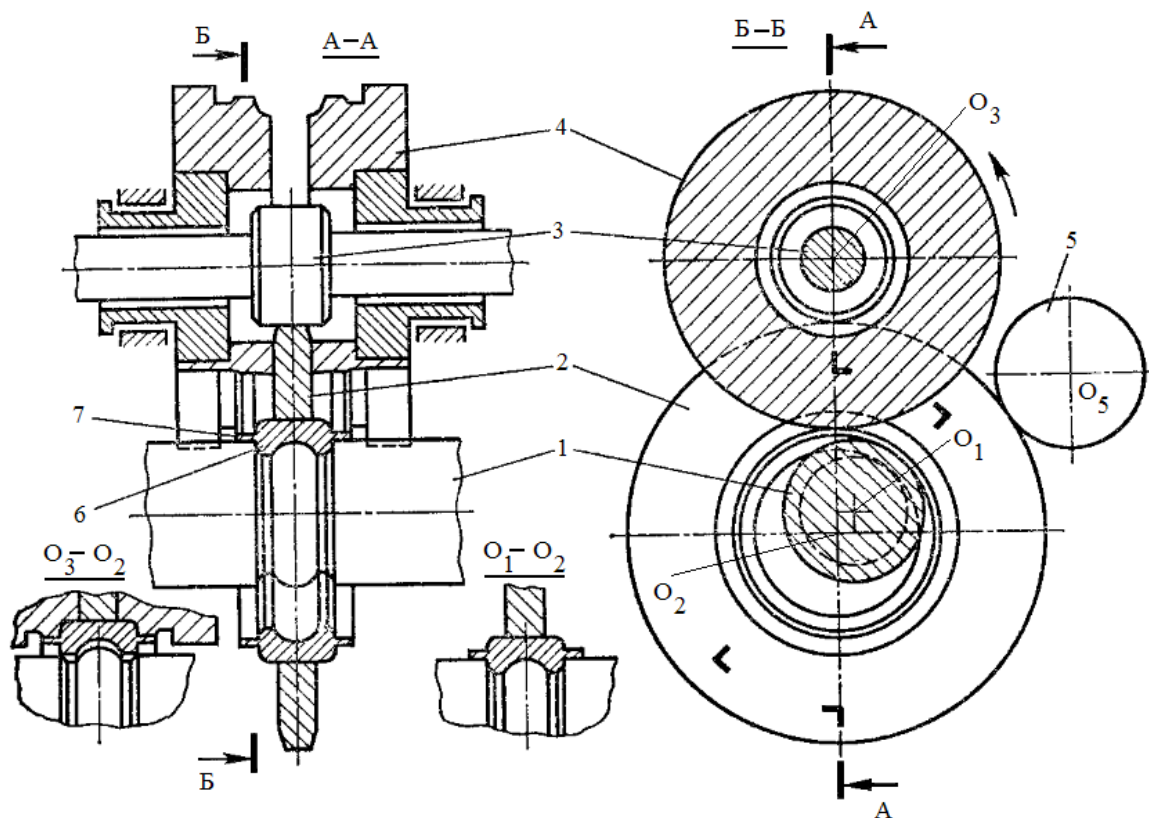
a – відкрите; б – напіввідкрите  
Рисунок 3.10 – Схеми розвальцювання



1 – заготовка; 2 – внутрішній валок;  
3 – зовнішній порожнистий валок; 4 – виштовхувач  
Рисунок 3.11 – Схема закритого способу розвальцювання

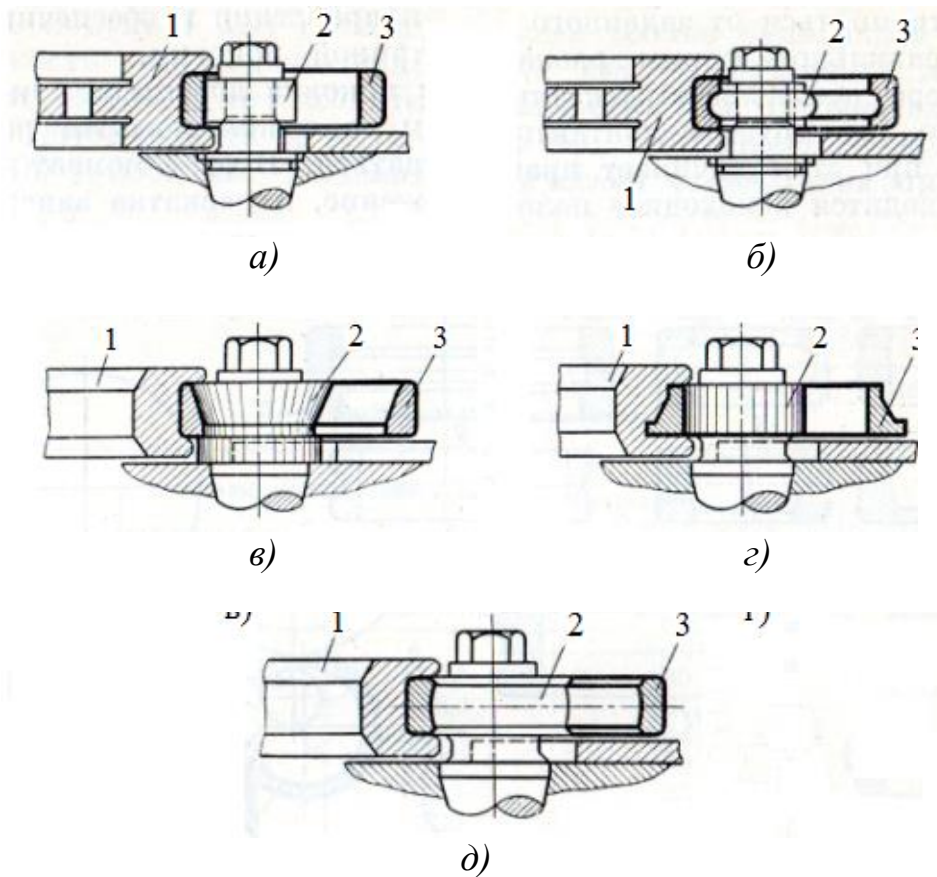
Напівзакрите розвальцювання (рис. 3.12) являє собою комбінацію схем відкритого і закритого розвальцювання. При зближенні осей внутрішнього валка 1, пустотілого валка 2, ширина якого менша ширини заготовки, що розкочуємо, і двох холостих бічних валків 4, оформляють ділянки заготовки, що примикають до її торців. Проводиться радіальне обтиснення стінки заготовки, що триває до тих пір, поки її зовнішній діаметр не виявиться рівним діаметру отвору пустотілого валка, а товщина стінки не досягне заданої. При цьому бічні валки 4, порожнистий валок 2 і внутрішній валок 1 можуть бути розташовані так, що вісь  $O_3$  бічних валків знаходиться поза площиною, що проходить через вісь пустотілого валка  $O_2$  і вісь внутрішнього валка  $O_1$ . Цим забезпечується можливість видалення надлишкового об'єму заготовки, що утворює торцеві задирки в процесі розкочування кільця. При відновленні вихідного положення осей валків розкочувана заготовка видаляється з пустотілого валка виштовхувачем і знімається з внутрішнього валка.

На рисунку 3.13 наведені схеми розвальцювання поковок різних конфігурацій.



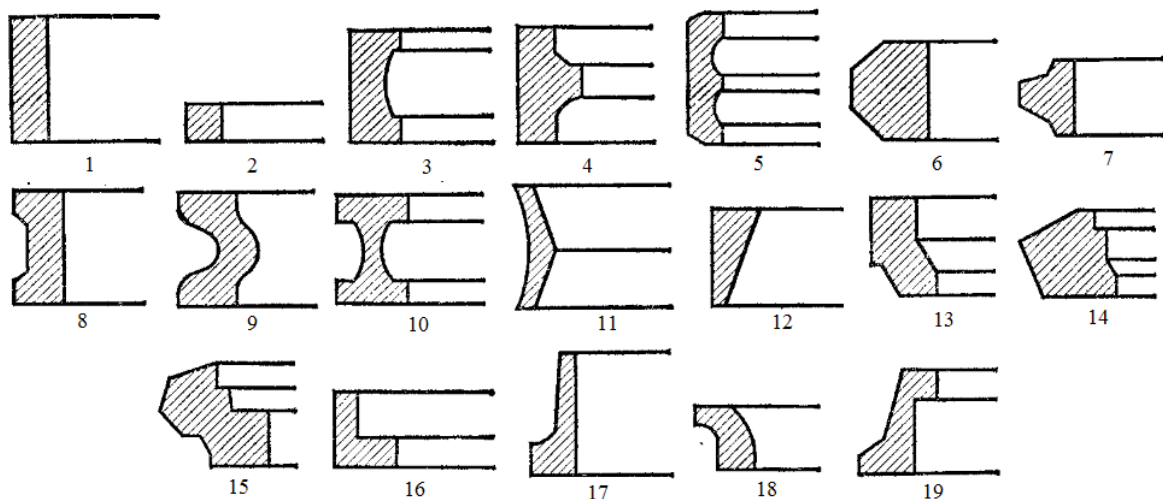
1 – внутрішній валок; 2 – зовнішній порожнистий валок;  
 3 – натискний валок; 4 – бічні валки;  
 5 – опорний валок; 6 – напівфабрикат, який розкочується;  
 7 – торцеві задирки в заготовці, яка розкочується

Рисунок 3.12 – Схема напівзакритого способу розвальцювання



1 – натискний валок; 2 – розкочувальний валок; 3 – поковка  
 а – циліндрова поковка, б – поковка з внутрішньою профільною поверхнею;  
 в – поковка з внутрішньою конічною поверхнею; г – поковка із зовнішнім профілем;  
 д – поковка з внутрішньою сферичною поверхнею  
 Рисунок 3.13 – Схеми розвальцювання кільцевих поковок різної конфігурації

На рисунку 3.14 зображені форми перетинів кільцевих заготовок.



1...11 – форми перетинів з горизонтальною віссю симетрії;  
 12...19 – форми перетинів, які не мають горизонтальної симетрії  
 Рисунок 3.14 – Форми перетинів кільцевих заготовок, отриманих на кільцерозкочувальних машинах напіввідкритим розвальцюванням

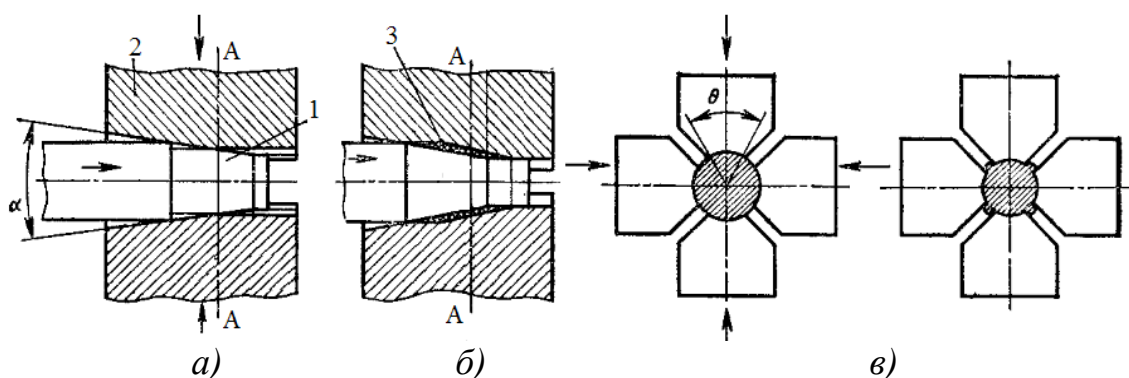
### Питання для самоконтролю

- 1 Дайте визначення процесу розвальцювання кільцевих заготовок.
- 2 Маса та розміри кільцевих заготовок.
- 3 Способи розвальцювання.
- 4 Назвіть переваги та недоліки процесу розвальцювання.
- 5 Охарактеризуйте схеми розвальцювання.

### 3.6 Оброблення на ротаційно-обтискній і радіально-обтискній машинах

Ротаційне обтиснення – це зміна форми заготовки шляхом періодичного обтиснення матрицями (бойками) з подовженням її уздовж осі при збереженні постійного об'єму. Ротаційним обтисненням піддають матеріали, що мають достатню пластичність, і матеріали, що погано піддаються обробленню тиском. Цей процес застосовують для виробництва різного роду циліндричних і ступінчатих валиків, велосипедних спиць, для обтиснення труб і валів. При цьому обтиснення може відбуватися за всією довжиною заготовки або на її частині. При обробленні труб зі спеціальними профільними оправками, вкладеними в них, внутрішнє профілювання можна здійснити редукуванням зовнішнього діаметра труби. Аналогічно отримують нарізку стовбурів, профілюють глухі отвори і внутрішні конічні профілі. Внутрішнє профілювання проводять на чотирибойкових машинах.

Ротаційне обтиснення з успіхом замінює токарну обробку. При цьому, в порівнянні з токарною обробкою, збільшується продуктивність, спостерігається економія металу, підвищується точність оброблення, зменшується шорсткість поверхні і поліпшується якість металу (волокна не перерізаються, міцносні характеристики металу підвищуються) [13]. Заготовки, що підлягають обробленню, повинні бути однорідними за довжиною, структурою і механічними властивостями (рис. 3.15).



1 – заготовка; 2 – бойки; 3 – зміщення обсягу металу;  
а – переріз у напрямку поздовжньої осі заготовки перед обтисненням;  
б – переріз у напрямку поздовжньої осі заготовки в кінці обтиснення;  
в – поперечний переріз (цикл одного обтиснення)

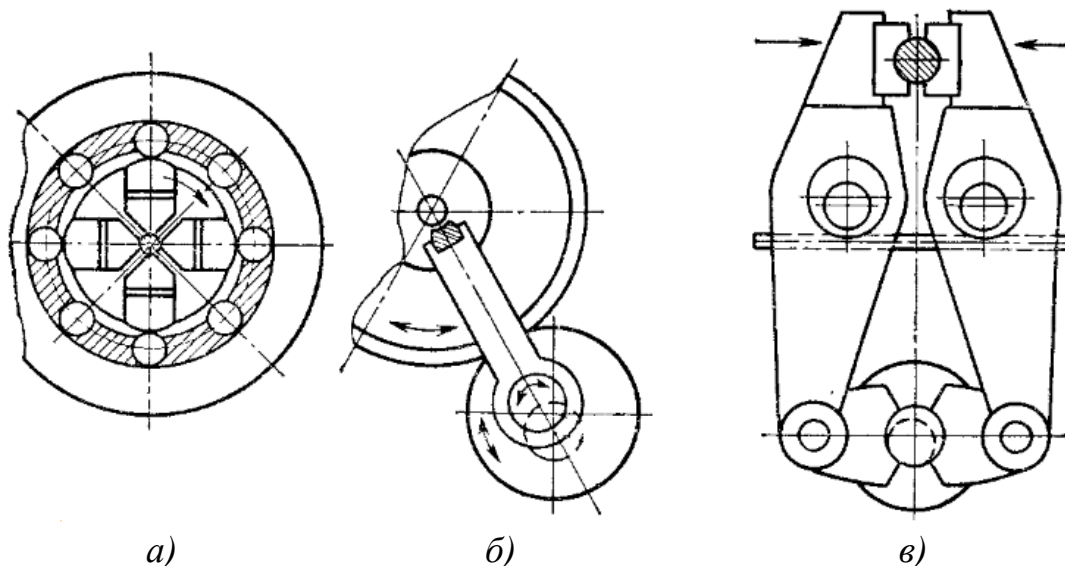
Рисунок 3.15 – Схема процесу радіального обтиснення

### 3.6.1 Класифікація обтискних машин

Усі обтискні машини поділяють на дві групи: ротаційно-обтискні та радіально-обтискні. У ротаційно-обтискних машинах шпindel, що несе інструмент, або обойма з роликками, здійснюють обертання навколо оброблюваної заготовки. У радіально-обтискних машинах сам інструмент і вузли, які надають йому руху, не обертаються навколо заготовки, а рух інструмента відбувається по радіусу від периферії до центра і назад. У машинах простої дії всі робочі органи здійснюють обробку одночасно з рівним ступенем обтиснення, що обумовлює простоту їх конструкції. У машинах подвійної дії є дві пари робочих органів, які проводять обробку в заданій послідовності з різним ступенем обтиснення. При цьому рух робочих органів здійснюється від двох різних за конструкцією приводів.

За напрямом подачі заготовки в зону обробки машини поділяють на горизонтальні і вертикальні. За ступенем автоматизації всі обтискні машини можна поділити на три групи: машини з ручним завантаженням і ручною подачею заготовок; напівавтомати, у яких завантаження заготовок в пристрій, що подає, здійснюється вручну, а подача і обробка виробів проводяться автоматично; автомати, у яких і завантаження, і обробка виробів відбуваються автоматично.

При проектуванні установок обтиснення дуже важливою проблемою є встановлення швидкості подачі заготовок. Для заготовки необхідні разом з поздовжньою подачею і кругова подача, і узгодження подачі з рухом інструменту (рис. 3.16).



*а – ротаційно-обтискна машина;*

*б – радіально-обтискна машина (шатунна);*

*в – радіально-обтискна машина (важільна)*

*Рисунок 3.16 – Схеми дії ротаційно- і радіально-обтискних машин*

### Питання для самоконтролю

- 1 Поняття ротаційного обтиснення.
- 2 Застосування ротаційного обтиснення на виробництві.
- 3 Переваги ротаційного обтиснення перед токарною обробкою.
- 4 Особливості заготовок, що можна застосовувати для даного процесу.
- 5 Основні групи обтискних машин.
- 6 Особливості радіально-обтискних машин.
- 7 Особливості ротаційно-обтискних машин.
- 8 Види машин за напрямком подачі заготовок.
- 9 Види машин за ступенем автоматизації.
- 10 Особливості процесу обтиснення.

### 3.7 Виготовлення тонкопрофільних виробів вальцюванням

У процесі вальцювання заготовка деформується між обертовими вальцями, навколо яких закріплений профільний інструмент (сектори). Струмки секторів мають відповідні форму і розміри одержуваної заготовки. Процес вальцювання є високопродуктивним і економічним. Застосування вальцювання для профілювання заготовок на кувальних вальцях забезпечує економію металу на 15...20 %, підвищення продуктивності на 50...150 % і зниження собівартості на 10...20 % [7].

Розрізняють такі види вальцювання:

- формування – застосовується для отримання фасонних заготовок під подальше штампування на пресі або молоті;
- штампування – застосовується для виготовлення штампованих заготовок;
- калібрування – застосовується для холодного вальцювання прецизійних деталей замість обробки різанням.

Формування та штампування заготовок гнуттям здійснюється, як правило, в умовах гарячого деформування, а калібрування вальцюванням – без попереднього нагрівання заготовок.

Шляхом формування гнуття можна вихідну заготовку постійного перерізу перетворити на фасонну штучну заготовку або на періодичний профіль. Підготовка заготовок гнуттям застосовується для серійного виробництва. Висока продуктивність процесу вальцювання дозволяє вести за одне нагрівання вальцювання заготовок і їх подальше штампування, водночас як використання періодичного і профільного прокату передбачає повторне нагрівання перед штампуванням.

Застосування формування гнуття заготовок під штампування дозволяє підвищити продуктивність штампувальних пресів і молотів в 1,5...2,5 рази, знизити витрату металу на 5...20 % за рахунок точного і стабільного розподілу металу за довжиною заготовки, зменшити вартість виготовлення молотових і пресових штампів за рахунок ліквідації підготовчих струмків. Собівартість виготовлення поковок на пресах і молотах знижується на 10...25 %.

Подальший розвиток технологічних процесів виготовлення лопаток пов'язаний з вдосконаленням заготовельних операцій, розширенням області застосування холодного вальцювання з одночасним забезпеченням високих експлуатаційних властивостей лопаток.

Процес холодного вальцювання лопаток умовно можна поділити на три стадії. Перша стадія – початок вальцювання. На цій стадії відбувається занурення секторів у заготовку, вироблення радіусу переходу від замка до пера (жолобника), формоутворення кореневого перерізу пера і його відносного розташування. При цьому площа осередку деформації, питомі сили та спільні сили зростають від нуля до робочих величин. Перша стадія може здійснюватися за однією з двох схем: зближення валків силовим приводом без їх обертання (рис. 3.17); зближення робочих поверхонь секторів з вміщеною між ними заготовкою за рахунок їх розвороту (рис. 3.18). При цьому заготовка лопатки навантажується осьовою силою, необхідною для утворення галтелі.

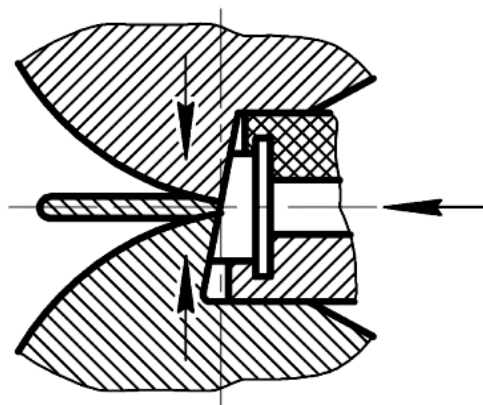
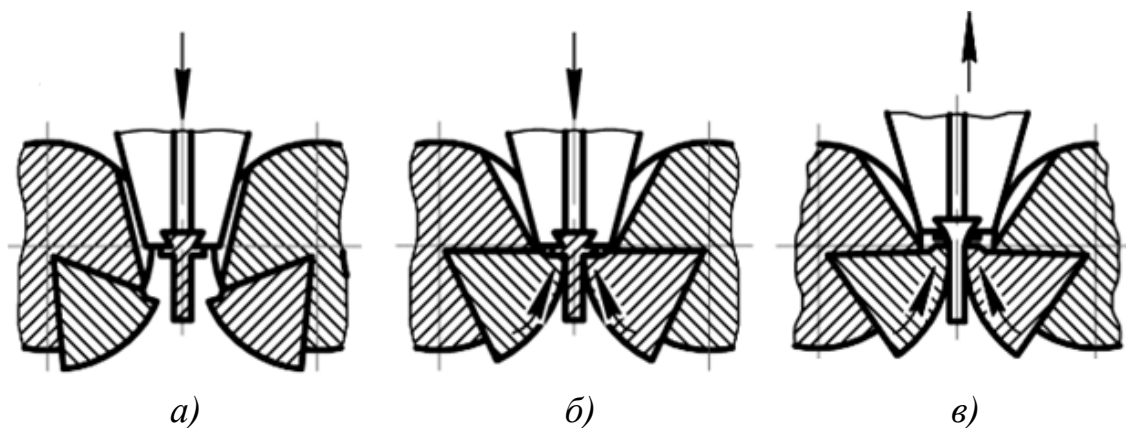


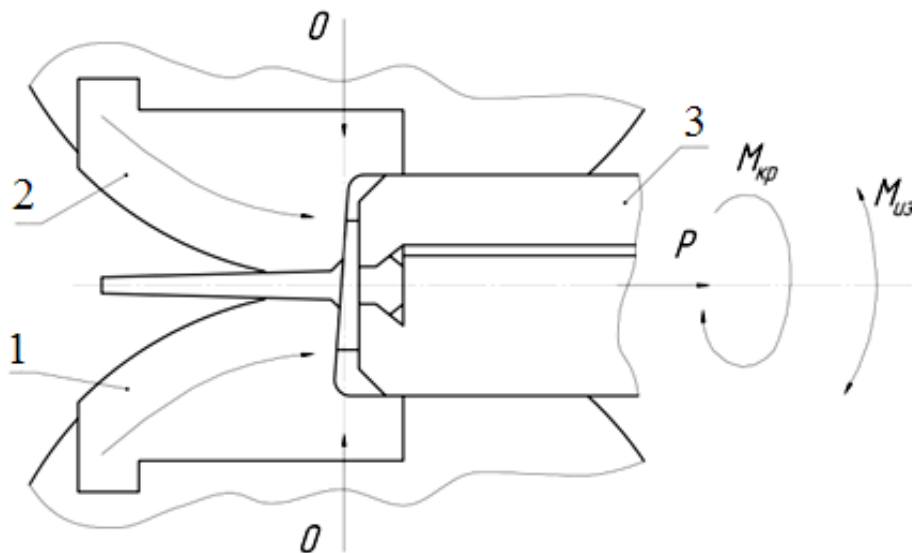
Рисунок 3.17 – Схема деформування кореневого перерізу зближенням валків силовим приводом



а – вихідне положення; б – початкова стадія; в – кінцева стадія  
Рисунок 3.18 – Схема деформації кореневого перерізу лопаток за рахунок розвороту валків

Друга стадія – вальцювання пера між профільними секторами при їх обертанні. Цей, основний період формоутворення пера лопатки, також не є стаціонарним процесом унаслідок змінних як за шириною, так і довжиною, товщин заготовки та готової лопатки, а, отже, і мінливого осередку деформації. Схема напружено-деформованого стану матеріалу заготовки та шляхи деформування різних її частин різні. На цій стадії процесу холодного вальцювання до заготовки через вільні частини, що не перебувають у вогнищі деформації, на вході і виході можуть прикладатися зовнішні навантаження у вигляді осьових стискаючих або розтягуючих сил, які додатково змінюють схему напруженого стану у вогнищі деформації.

Третя стадія – кінець вальцювання. Унаслідок нерівномірної деформації (подовжень) кінець пера лопатки має неправильну форму і повинен бути обрізаний за розміром. Звільнена з валків заготовка під дією залишкових напружень пружно деформується – змінює форму пера щодо замка (жолоблення). Величина деформації зростає через віддалення від замка і може сягати значних величин. У результаті, при спробі повернути перу необхідну форму шляхом докладання зовнішніх навантажень, останнє втрачає стійкість, і на кромках з'являються гофри. Для запобігання або значного зменшення жолоблення пера лопатки обладнання для вальцювання може бути оснащено спеціальними пристроями, за допомогою яких вже під час вальцювання до заготовки прикладаються крутний і згинальний моменти (рис. 3.19). Прикладання крутного і згинального моментів дозволяє компенсувати внутрішні залишкові напруги, викликає жолоблення пера лопатки після виходу з валків.



1, 2 – валки; 3 – подавальний пристрій

Рисунок 3.19 – Схема прикладання зовнішніх навантажень до пера лопатки при холодному вальцюванні

Холодне вальцювання застосовується при виготовленні лопаток, як у вітчизняній практиці, так і за кордоном. У цілому інформація про закордонну

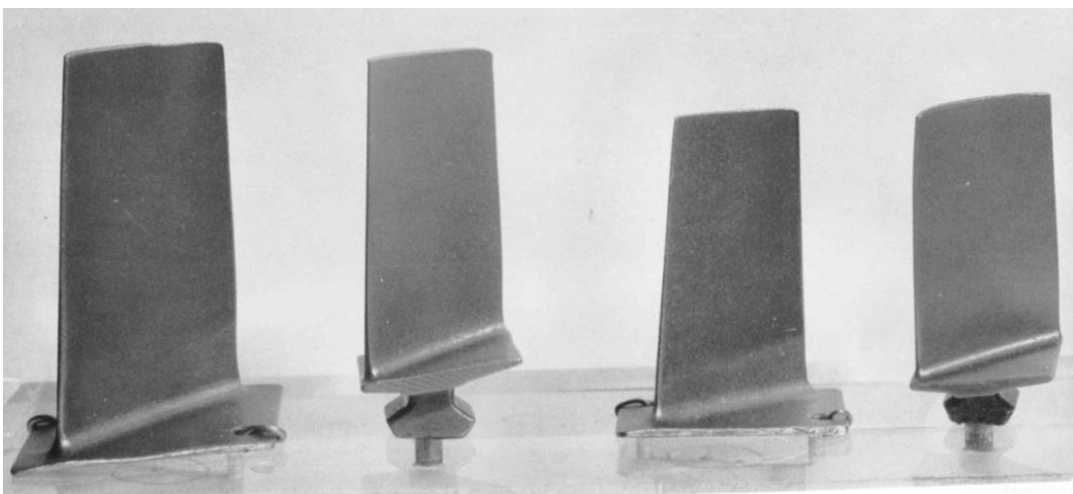
практику виробництва лопаток і, зокрема, про холодне вальцювання є досить обмеженою.

Цей метод забезпечує високоякісні точні поверхні в більшій частині аеродинамічного профілю і високі значення коефіцієнта використання металу.

Основний недолік процесу холодного вальцювання, на думку авторів, – це велика кількість необхідних проходів вальцювання з наступним видаленням мастила, термічною обробкою, повторним нанесенням мастила і т. д. Кількість переходів при вальцюванні залежить від інтенсивності зміцнення матеріалу, товщини кромки пера і багатьох інших факторів. Крім того, між операціями вальцювання необхідно здійснювати обробку кромки і контроль. З удосконалення процесу вальцювання намічені такі заходи:

- скорочення кількості операцій вальцювання за рахунок підвищення допустимих ступенів деформації за прохід і зниження припуску на заготовці з одночасним підвищенням її точності;
- зменшення обсягу ручних робіт, як наслідок, зменшення кількості проходів холодного вальцювання і механізації фінішних операцій;
- підвищення коефіцієнта використання металу.

Таким чином, для підвищення ефективності виробництва компресорних лопаток (рис. 3.20) технологію холодного вальцювання необхідно інтенсифікувати.



*Рисунок 3.20 – Вид компресорних лопаток*

### **Питання для самоконтролю**

- 1 Дайте поняття процесу вальцювання.
- 2 Основні види вальцювання.
- 3 Чим зумовлена необхідність у використанні великих швидкостей деформації?
- 4 Штампування лопаток. Стадії процесу.
- 5 Недоліки вальцювання.
- 6 Заходи щодо покращення процесу вальцювання.

### 3.8 Вибухове пресування заготовок для турбінних лопаток

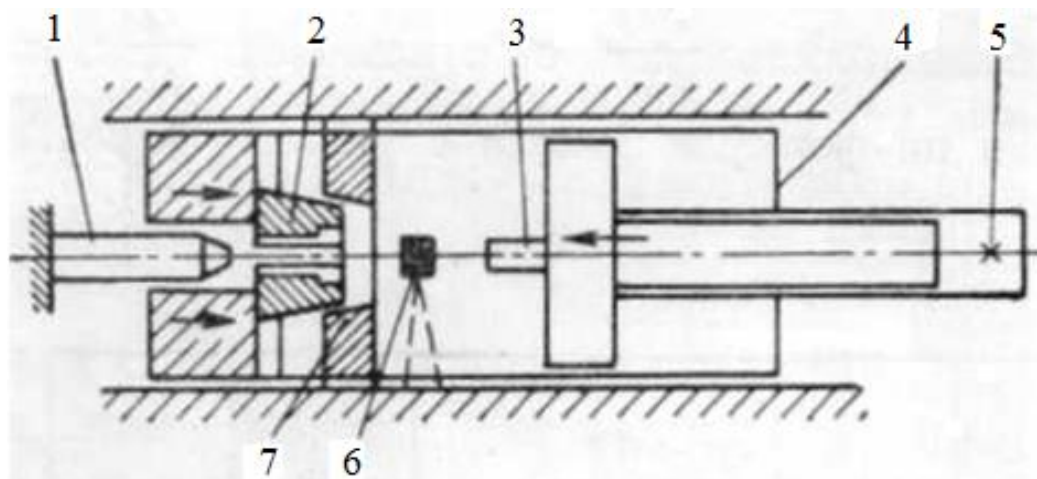
Великі швидкості деформації не тільки сприяють зростанню продуктивності праці, а й зумовлюють нові технологічні та енергетичні властивості. Зокрема, забезпечується краща оброблюваність металів і збільшується можливість для створення робочих машин з великою абсолютною і відносною потужністю. При цьому енергоносії, як правило, не є дефіцитними і дорогими [7].

Усе це підтверджується як вітчизняними, так і зарубіжними роботами. У зв'язку з цим викликають самостійний інтерес роботи про швидкісне (вибухове) об'ємне штампування виробів складної конфігурації з міцних малопластичних матеріалів, наприклад, заготовок для турбінних лопаток.

Як відомо, зростаюче застосування установок з газовими турбінами викликає необхідність безперервного вдосконалення виробництва лопаток. Це стосується всіх технологічних процесів: ковальської, термічної і верстатної обробки.

Зазначаючи досягнуті в цій галузі суттєві результати, розглянемо особливості та можливості вибухового пресування заготовок для турбінних лопаток. Пропонується здійснювати пресування заготовок (виробів) ударом твердого тіла (інструменту). Вважається, що його застосування цілком можливо і раціонально, тому що навіть при швидкостях зіткнення інструменту і заготовки до 150 м/с показники пластичності оброблюваного металу не знижуються.

Для перевірки цього припущення була розроблена і здійснена в металі конструкція вибухового копра для висадки, схема якого дана на рисунку 3.21.



1 – виштовхувач; 2 – матриця (контейнер); 3 – пуансон;  
4 – рама; 5 – камера вибуху; 6 – заготовка; 7 – кільцева плита  
Рисунок 3.21 – Схема копра для пресування

Основними вузлами копра є: камера вибуху, яка заряджається порохом або вибуховою сумішшю природного газу і повітря, що направляє циліндр, у якому переміщається шток із закріпленим на ньому пуансоном, і рама, на якій зібрані і з'єднані жорсткими тягами шабот з матрицею і яка спрямовує циліндр з вибуховою камерою. Завдяки такій конструкції копер працює як бесшаботний молот: у результаті вибуху шток з пуансоном рухається з великою швидкістю в бік заготовки. Одночасно направляючий циліндр і з'єднаний з ним шабот з матрицею рухаються до заготовки (пуансона). Відбувається синхронний удар по заготовці з двох сторін.

Це призводить до збільшення швидкості деформації металу, а також дозволяє відмовитися від фундаментів, оскільки силова схема замикається усередині системи. Останнє є дуже важливим фактором, оскільки складність і дороговизна фундаментів, а також сейсмічність роботи молотів загальновідомі.

Описуваний копер має нескладну конструкцію, невеликі габаритні розміри і важить усього 500 кг. Копер розвиває енергію, що приблизно дорівнює 2 000 кг, і, отже, він ефективніше сучасних молотів з вагою падаючих частин 1,0 т. До того ж при його замкнутій силовій схемі виключається необхідність у фундаменті.

Процес деформування металу (пресування, висадка та ін.) здійснюється таким чином. Заготовка закріплюється на лінії удару в спеціальному утримувачі. Під час вибуху заряду шток із закріпленим на ньому інструментом (пуансоном) рухається у бік заготовки. При цьому рама копра і закріплена на ній розсувна матриця рухаються під дією сил відкату назустріч штоку. Завдяки нерухомій кільцевій плиті відбуваються змикання половинок матриці і захоплення заготовки. Майже вся енергія, накопичена при розгоні штока до швидкості 30...60 м/с, витрачається на деформування заготовки. Після закінчення процесу деформування частина енергії передається на матрицю і раму машини, що призводить до відкату останньою в початкове положення. При цьому ударом виштовхувача матриця розкривається і виріб виштовхується. Весь цикл пресування дорівнює 0,05...0,1 с.

Таким способом були отримані різні вироби, в тому числі вироби типу турбінних лопаток (рис. 3.22) з різних матеріалів з пером, шириною до 35 мм і довжиною до 100 мм при достатній якості пера. При цьому величина припуску не перевищувала ~ 0,1 мм, хоча остання і повинна визначатися із загальних умов виробництва лопаток, тобто повинні бути враховані особливості термічної обробки, можливого викривлення та ін. Це, мабуть, вимагає додаткових досліджень. Гарну заповнюваність порожнини штампу можна пояснити великим запасом кінетичної енергії частинок металу, що переміщаються. Разом з тим саме цей надлишок енергії при незамкненій порожнині штампу і великій швидкості удару може призвести до відриву пера лопатки інерційними силами, що і спостерігалось.

Технологічно і енергетично доцільним є те, що заготовка до моменту удару знаходиться поза половини інструменту (матриці і пуансона). При

гарячому деформуванні це сприяє збільшенню стійкості інструменту і зменшенню розсіювання тепла заготовки.



*Рисунок 3.22 – Вироби, які отримані методом вибухового пресування*

### **Питання для самоконтролю**

- 1 Чим обумовлено поширення застосування даної технології?
- 2 Чим зумовлена необхідність у використанні великих швидкостей деформації?
- 3 Схема копра для пресування. Основні вузли.
- 4 Переваги схеми копра для пресування.
- 5 Послідовність процесу деформування металу.

### **3.9 Виготовлення заготовок і деталей з порошкових матеріалів (пресування порошків рухомими середовищами)**

Порошкова металургія є одним з найефективніших технологічних процесів, що забезпечують одержання виробів із заданими властивостями і формою, мінімальними відходами і низькою трудоемністю [8].

Використання порошкової металургії в масовому виробництві підвищує продуктивність праці в 1,5...2 рази, скорочується кількість операцій до трьох разів, втрати матеріалів становлять 5...10 %. Ці та інші переваги порошкової металургії зумовили її широке застосування в промисловості всіх розвинених країн світу.

Прогрес порошкової металургії значною мірою визначається вдосконаленням найважливішої технологічної операції – пресування, яке визначає не тільки форму і розміри деталей, але і їх експлуатаційні властивості. Зараз пресування деталей і порошків здійснюється різноманітними способами, які використовують статичні та ударні навантаження, різні передавальні середовища. Різноманіття існуючих способів і нових способів, що

безперервно з'являються, викликало необхідність їх класифікації на основі об'єктивних критеріїв спільності:

1. Вид формуючого (енергопередавального) середовища.
2. Характер програми навантаження (швидкість, періодичність, вид руху інструменту, який здійснює формовку, або середовище).
3. Температура формування.
4. Умови тертя.
5. Стан вихідної заготовки.

Зараз найбільше промислове застосування отримав спосіб холодного статичного пресування в жорстких закритих прес-формах, що відрізняється високими техніко-економічними показниками. Проте у такий спосіб отримують переважно прості за формою і невеликі за габаритними розмірами деталі.

Сили тертя по контактним з інструментом поверхням призводять до значної неравнощільності деталей.

Застосування різних способів пресування рухомими середовищами, які називають також часто ізостатичним пресуванням, дозволяє звести до мінімуму недоліки, властиві пресування в жорстких прес-формах. Тиск при цьому для досягнення однакової щільності в 1,5...2 рази менше, ніж при двосторонньому, і майже втричі менше, ніж при односторонньому пресуванні в жорстких прес-формах.

**Особливості:** високий рівень прикладеної енергії на необмеженій площі, що дозволяє отримувати високощільні деталі великих розмірів.

**Переваги:**

1. Можливість створення в порошку оптимальних схем напружено-деформованого стану, що дозволяє отримувати деталі дуже складної форми.
2. Практична відсутність сил тертя по контактних поверхнях інструменту, що дозволяє підвищити щільність і рівномірність його розподілу; зменшити енергоємність процесу.
3. Зниження вартості оснащення та підвищення його універсальності.
4. Збільшення щільності.

До **недоліків** можна віднести низьку продуктивність і меншу точність розмірів деталей.

При пресуванні рухомими середовищами, до яких відносяться рідини, гази та еластоміри, використовують як статичне, так і імпульсне прикладання сили. До них відносять: гідростатичне, газостатичне, еластостатичне (найпростіше і універсальне), вибухове, гідродинамічне, електрогідроімпульсне пресування і інші способи.

Технологічний процес отримання виробів з тугоплавких металів починається з переробки вихідної сировини в порошок.

Розвиток порошкової металургії почався з розвитку продукції з тугоплавких металів (вольфраму, молібдену).

Основні напрями:

1. Виробництво порошоків як товарної продукції для безпосереднього

застосування в різних галузях техніки, наприклад, для покриттів, як легуючих добавок для зварювальної техніки, каталізаторів і т. д.

2. Створення матеріалів і виробів з особливими властивостями і структурою для робіт при підвищених температурах і навантаженнях, наприклад, псевдосплавів W-Cu, Fe-C, твердих сплавів, фрикційних та антифрикційних виробів складного складу та ін.

3. Створення пористих матеріалів для роботи при підвищених температурах, наприклад, пористі фільтри та ін.

4. Виготовлення деталей з остаточними розмірами без додаткової механічної обробки; створення різних інструментальних матеріалів (для свердел, фрез та інших), що мають високу стійкість при обробці різанням або тиском.

Продукцію порошкової металургії особливо широко застосовують в автомобільній і електротехнічній, хімічній, металургійній, нафтовій, тракторній, авіаційній промисловостях, суднобудівництві, сільгоспмашинобудуванні та ін.

Загальна схема технологічного процесу:

- а) отримання порошків з необхідними властивостями;
- б) формування порошків;
- в) спікання сформованих заготовок при певній температурі в середовищах регульованого складу (після цього можлива термічна і хіміко-термічна обробка), обробка тиском з додатком зсувних деформацій.

Пресування являє собою формування тіл шляхом прикладання сили до порошку в закритій формі або оболонці.

Розроблено такі процеси пресування порошків:

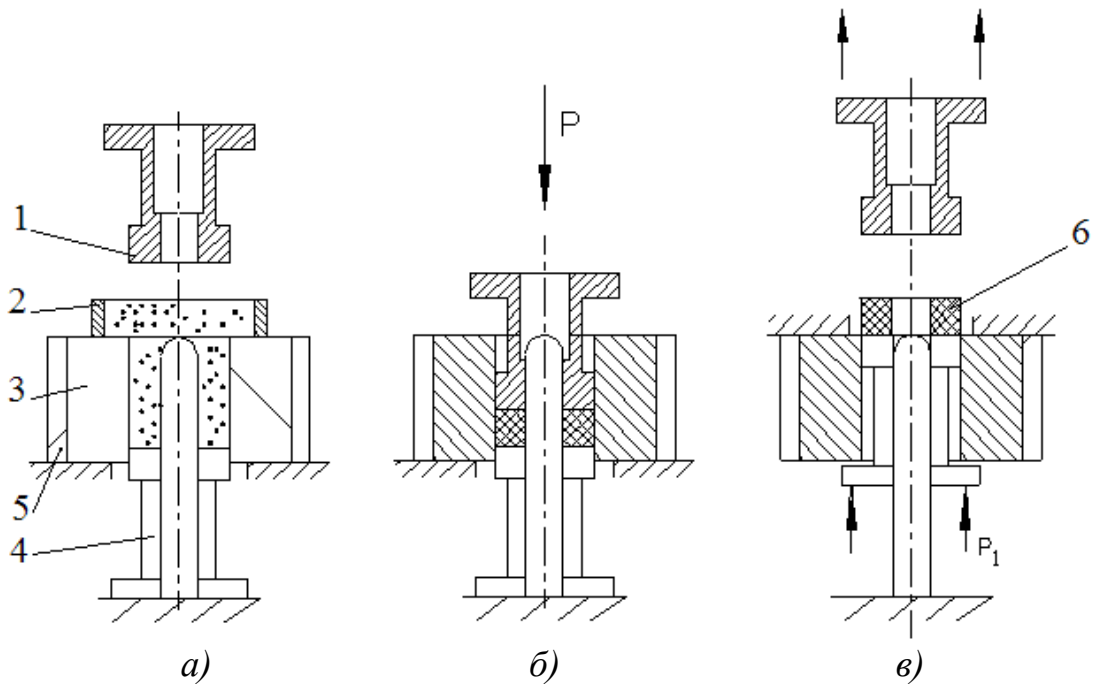
- 1) у закритій прес-формі; 2) із застосуванням вібрації; 3) ударне пресування; 4) ізостатичне пресування; 5) пресування вибухом.

### **3.9.1 Формування в деталі**

Основним методом є формування в сталевих прес-формах, так зване пресування. Пресування проводиться на спеціалізованих пресах для металокерамічного виробництва. Залежно від розмірів деталі застосовують одностороннє і двостороннє пресування.

#### **3.9.1.1 Прес-форма для одностороннього пресування**

Рекомендована конструкція прес-форми для одностороннього пресування деталі, що має конфігурацію плоского кільця, зображена на рисунку 3.23.



*а – дозування; б – пресування; в – виштовхування;*

*P – сила пресування; P<sub>1</sub> – сила виштовхування*

*Рисунок 3.23 – Прес-форма для одностороннього пресування*

До складу прес-форми входить матриця 3, до якої входить пресуючий пуансон 1. Циліндричний отвір деталі формується стрижнем-вкладишем 4, а цілісний стан матриці забезпечується обоймою 5.

Робота даної прес-форми полягає в такому. На початку технологічної операції здійснюється складання прес-форми. Матриця стягується обоймою, на неї встановлюється завантажувальна камера 2.

У порожнину, утворену матрицею 3, вкладишем 4 і завантажувальною камерою 2, засипають дозовану кількість порошку. Встановлюють пуансон 1, переносять зібрану прес-форму на стіл гідравлічного преса і здійснюють пресування.

Спресований брикет 6 витягують з порожнини прес-форми (розбирання прес-форми) в такій послідовності: прес-форму встановлюють на спеціальне кільце, діаметр отвору якого більше зовнішнього діаметра вкладиша 4 і менше зовнішнього діаметра матриці 3, потім видавлюють вкладиш.

### *3.9.1.2 Прес-форма для двостороннього пресування*

Роботу прес-форми для двостороннього пресування деталі-кільця розглянемо на прикладі циклограми спеціальної роторної установки (рис. 3.24).

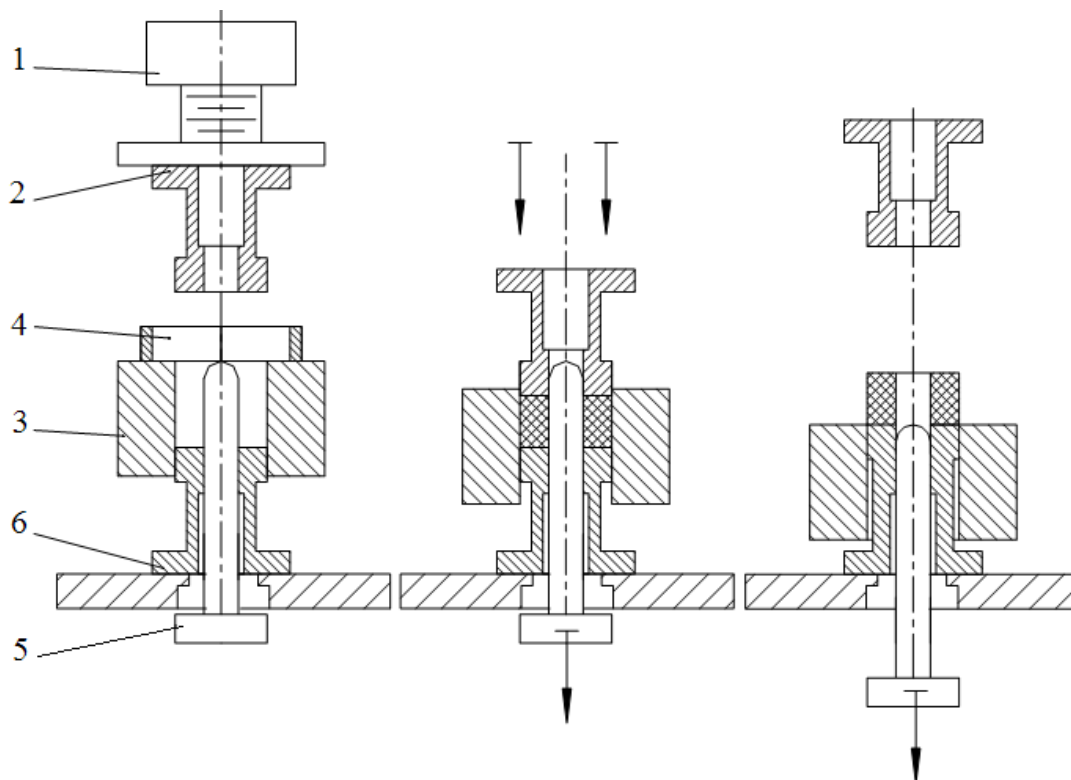


Рисунок 3.24 – Прес-форма для двостороннього пресування

Прес-форма складається з матриці 3, пресуючого пуансона 2, що закріплюється на верхньому штоку регульованої довжини 1, і нижнього пуансона 6, нерухомо закріпленого на несучій плиті установки. Оформляє отвір деталі стрижень 5, а також матриця 3, закріплені за допомогою деталей на нижньому штоку.

У прес-формі, призначеній для застосування на універсальному обладнанні (гідролічний прес), матриця 3 може бути просто підпружинена щодо нерухомої частини прес-форми.

Цикл роботи установки починається з того, що в порожнину, утворену матрицею 3, стрижнем, завантажувальною камерою 4 і нижнім пуансоном, засипається прес-порошок. При цьому дозування зазвичай проводиться за об'ємом із застосуванням розтруба, який на схемі не показано.

Після заповнення порожнини прес-форми порошком починається опускання верхнього штока 1 з пуансоном 2, який пресує. Потім відбувається власне пресування, причому його двосторонній характер забезпечується одночасним рухом вниз пресуючого пуансона і матриці зі стрижнем. При нерухомому нижньому пуансоні брикет допресовується.

Далі спресований брикет витягується з порожнини прес-форми. Для цього пресуючий пуансон починає рухатися вгору, а матриця разом зі стрижнем переміщаються вниз за допомогою нижнього штока. Вивільнення брикету відбувається в крайньому нижньому положенні матриці зі стрижнем. Брикет залишається на нерухомому нижньому пуансоні, а потім видаляється із зони пресування.

Після повернення матриці зі стрижнем в крайнє верхнє положення починається новий цикл роботи роторної установки.

Вироби, отримані пресуванням порошків, показані на рисунку 3.25.



*Рисунок 3.25 – Вироби, які отримані пресуванням порошків*

#### **Питання для самоконтролю**

- 1 Використання порошкової металургії.
- 2 Основні об'єктивні критерії спільності.
- 3 Переваги та недоліки порошкової металургії.
- 4 Основні напрями розвитку порошкової металургії.
- 5 Застосування продукції порошкової металургії.
- 6 Схема технологічного процесу.
- 7 Види процесів пресування порошків.

### **3.10 Гідравлічне штампування порожнистих деталей з відведеннями з трубчастих заготовок**

Викладені в попередніх розділах способи виготовлення деталей мають високу трудомісткість, складність інструменту, тривалість процесу. Застосування зазначених способів викликає певні труднощі, що обмежує область раціонального їх використання [5; 9].

На рисунку 3.26 зображена схема штампування трійника осадкою трубної заготовки, яка заповнена наповнювачем.

Штамп складається з роз'ємної матриці 1 і двох пуансонів 4, 5. Заготовку 3 заповнюють наповнювачем 2 і укладають в порожнину роз'ємної

матриці. Осьові пуансони стискають заготовку разом з наповнювачем силою  $Q$ . Унаслідок нестиснення або малої стисливості наповнювача всередині заготовки піднімається тиск, який виробляє деформування труби в радіальну порожнину матриці. Таким чином, довжина заготовки зменшується, а в радіальній порожнині матриці відбувається формоутворення відводу.

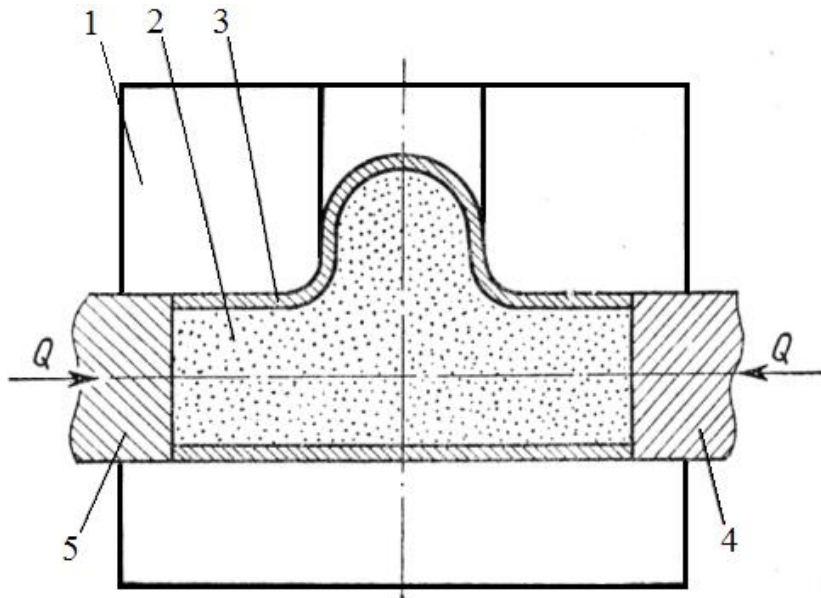


Рисунок 3.26 – Схема штампування трійника осадкою заготовки з наповнювачем

Отримання якісних деталей при даній схемі штампування є складним процесом, тому що тиск всередині заготовки визначається модулем об'ємного стиснення середовища, тобто не може бути регульованим у необхідних межах. У початковий момент штампування тиск усередині заготовки може бути недостатнім, що призведе до втрати стійкості заготовки та утворення складок на деталі. Через опадання заготовки тиск наповнювача підвищується і може призвести до розриву заготовки в зоні відводу. Висота відводів, одержана при такому штампуванні, невелика, може досягати всього лише  $0,5d$ . При цьому відносна товщина стінки заготовки суттєво обмежена.

Подальше вдосконалення пристроїв для штампування порожнистих деталей з відводами призвело до роздільного приводу осьової осадки заготовки і стиснення наповнювача. Проте використання твердих або еластичних наповнювачів обмежує можливості процесу і створює додаткові складності по заповненню та вилученню наповнювача.

Необхідна продуктивність праці і висока якість деталей можуть бути досягнуті при гідравлічному штампуванні, коли всередину заготовки подають рідину від регульованого джерела високого тиску [4, 64]. Принципова схема пристрою для гідравлічного штампування зображена на рисунку 3.27.



у пластичний стан. Стінка труби прогинається в радіальну порожнину, а потім спостерігається течія металу з поздовжньої порожнини з утворенням відводу, висотою  $b$ , при цьому довжина вихідної заготовки зменшується на величину  $\Delta H$ .

Для успішного протікання процесу співвідношення між силами осевого стиснення і тиском рідини має бути певним. При недостатній силі  $Q_1$  і надмірному тиску  $q$  в зоні відводу будуть переважати розтягуючі напруги, що призведе до значного стоншення стінки та руйнування заготовки. З іншого боку, недостатній тиск рідини сприяє малій висоті відводу і появі складок на вихідній заготовці.

Часто для виключення розриву вершини відводу використовують додатковий бічний підпір силою  $Q_2$  через спеціальні плунжери 2. Через збільшення висоти відводу підпирний плунжер переміщається, віддаляючись від центру труби. У процесі штампування він обмежує дію внутрішнього тиску  $q$  на вершину відводу, зменшуючи небезпечні розтягуючі напруги.

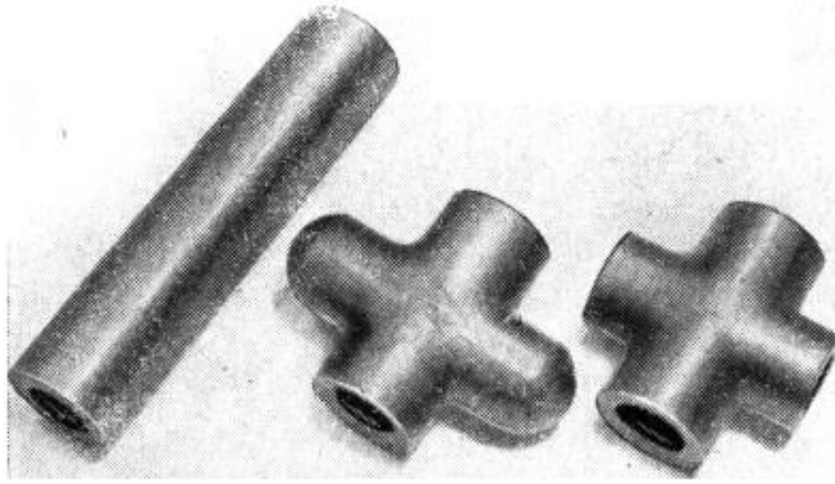
Після закінчення штампування, коли висота заготовки зменшується до  $2l$ , навантаження (тиск  $q$ , сили  $Q_1$  і  $Q_2$ ) знімають, осеві пуансони відводять назад, половинки матриці розкривають і виймають відштампований виріб.

Весь технологічний процес виготовлення порожнистих деталей з відводами при використанні гідравлічного штампування містить такі основні операції: 1) поділ труб; 2) штампування заготовок; 3) термічна обробка; 4) механічна обробка деталей, що включає відрізок дна відштампованих відводів.

Для поділу труб на мірні відрізки в залежності від обсягу виробництва деталей можуть бути використані різні способи різання. Сюди відносяться різання труб на спеціалізованих трубовідрізнних верстатах, різка труб на токарних верстатах, а також різка пилами, абразивним інструментом і т. д.

Перед штампуванням відрізки труб очищають від задирок, іржі і окалини і наносять при необхідності технологічне мастило. Термічну обробку відштампованих заготовок виробляють для зняття наклепу та відновлення пластичних характеристик металу. Застосовують її, головним чином, при виготовленні виробів (деталей) відповідального призначення з легованих сталей і сплавів.

Механічна обробка, її обсяг і кількість операцій залежать від конфігурації деталей та вимог до них при складанні з іншими деталями. Деталі з відведеннями, які з'єднують при зборці зварюванням встик, вимагають найменшого обсягу механічної обробки. У даному випадку механічна обробка зводиться до відрізки дна відведення і зняття фасок під зварний шов. Зовнішні та внутрішні поверхні виробу механічній обробці не підлягають, що і визначає економічну ефективність процесу в цілому. На рисунку 3.28, а...в показана послідовність виготовлення хрестовини з відрізка труби з використанням гідравлічного штампування за один перехід.



а)

б)

в)

*а – заготовка; б – відштампований виріб;  
в – готова хрестовина після відрізки вершин відведень*  
Рисунок 3.28 – Послідовність виготовлення хрестовини

### Питання для самоконтролю

- 1 Опишіть схему штампування трійника осадкою.
- 2 Результати розвитку штампування порожнистих деталей.
- 3 Схема гідравлічного штампування.
- 4 Особливості процесу гідравлічного штампування.
- 5 Операції, з яких складається штампування порожнистих деталей.
- 6 Способи різання заготовок.

### 3.11 Виготовлення гідравлічним штампуванням пустотілих деталей без відводів

Порожні деталі без відводів вельми різноманітні за формою і призначенням. Для вибору оптимального процесу гідравлічного штампування вони класифіковані за конструктивно-експлуатаційними ознаками на чотири основні групи:

I — порожні осесиметричні вали;

II — порожні осі;

III — порожні ексцентрикові, кулачкові і колінчасті вали, які характеризуються не тільки вище вказаними параметрами, але й ексцентричне розташуванням частини, що роздається;

IV — сільфони і побутові деталі.

Коефіцієнтом роздачі, що рівний відношенню діаметра частини, що роздається, до діаметра заготовки ( $K_p = D/d$ ).

**Гідравлічне штампування простим навантаженням.** Заготовка 1 (рис. 3.29), що поміщена в порожнину роз'ємної матриці 2, піддається дії тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки, яке створюється за рахунок зміни об'єму порожнини заготовки за допомогою поршня-пуансону 3. Можливості способу можуть бути розширені шляхом використання джерела високого тиску – мультиплікатора, що дозволяє змінювати тиск рідини в порожнині рідини, що подається через канавку в пуансоні.

Цим способом гідравлічного штампування відбувається тільки роздача трубних заготовок у радіальному напрямку. В основному його застосовують для калібрування труб, напресування невідповідальних деталей на трубчатих заготовках і при виготовленні деталей з коефіцієнтом роздачі  $K_p < 1,2$ . Недоліком способу є значне стоншення стінки заготовки.

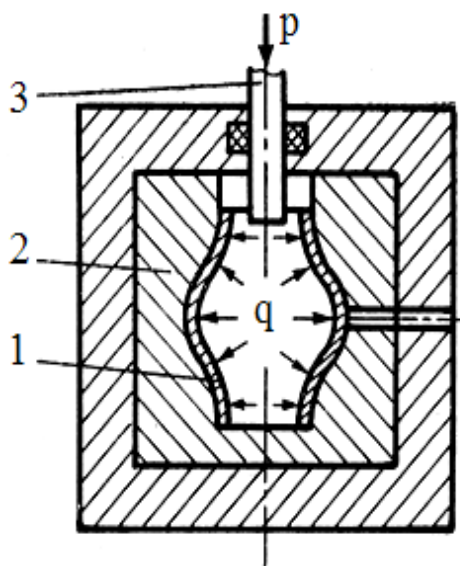


Рисунок 3.29 – Схема гідравлічного штампування порожніх осей простим навантаженням заготовки

**Гідравлічне штампування з осью осадкою заготовки.** Трубчаті заготовки 1 (рис. 3.30) встановлюють у порожнині роз'ємної матриці 2. Після цього матрицю змикають і утримують в зімкнутому стану за допомогою повзуна пресу. Потім проводять герметизацію порожнини заготовки пуансонами 3 і 4, які спеціальними виступами вдавлюються в її торці. Деформують заготовку осью осадкою пуансонами на певну величину з одночасною подачею в її порожнину рідини високого тиску. У результаті заготовка набуває потрібної форми. При середніх значеннях коефіцієнта роздачі ( $K_p = 1,2 \dots 1,6$ ) стоншення її стінки не перевищує допустимих норм. При великих значеннях коефіцієнта роздачі ( $K_p = 2$ ) для зниження стоншення застосовують підпір рідким або еластичним середовищами. Необхідність використання підпору і його величина залежать не тільки від коефіцієнту роздачі, але і від матеріалу заготовки, товщини її стінки, величини осевої осадки.

Розглянутий спосіб застосовується для виготовлення деталей I і частково IV груп.

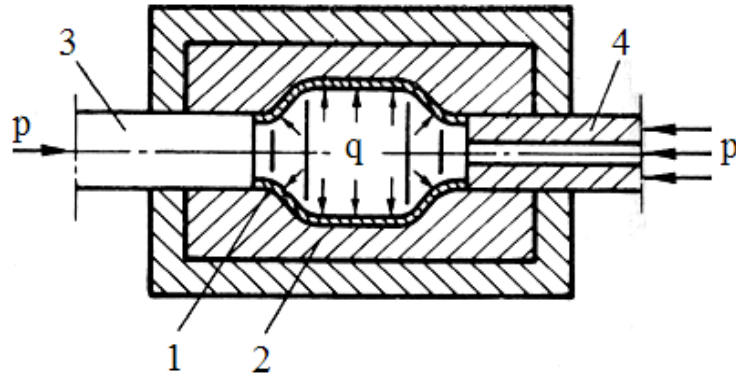
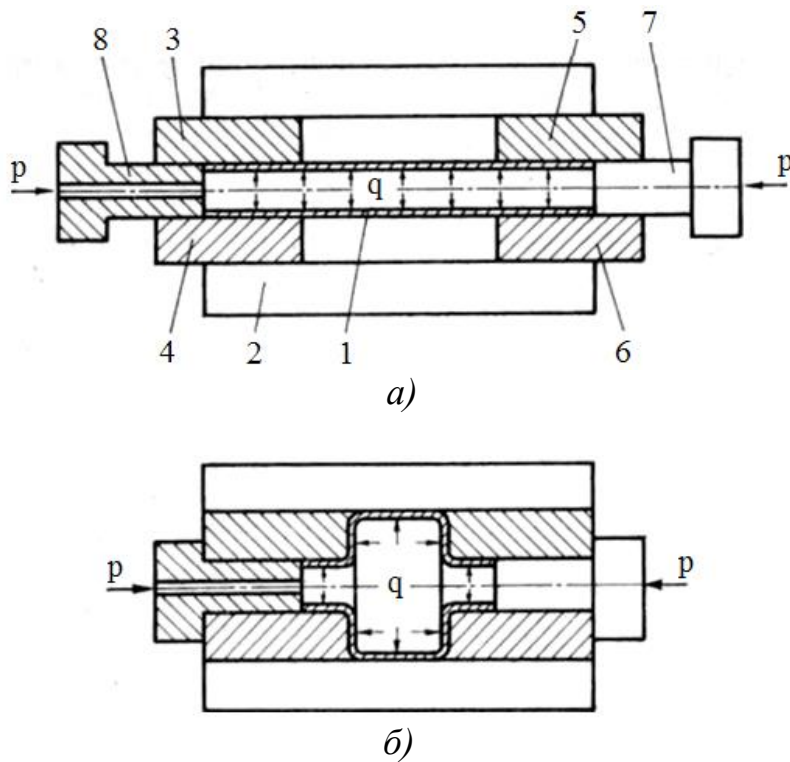


Рисунок 3.30 – Схема гідравлічного штампування з осьовою осадкою заготовки

**Гідравлічне штампування з осьовою осадкою заготовки і поздовжнім обтисненням частини, що роздається, особливо ефективна для отримання деталей II групи. Метод може використовуватися і для виготовлення деталей III групи. Сутність його полягає в такому. Трубну заготовку 1 (рис. 3.31, а) встановлюють у порожнину роз'єму матриці 2, яка складається з чотирьох рухомих у поздовжньому напрямку вкладишів 3, 4, 5 і 6.**



а – у початковий момент штампування;  
б – у кінцевий момент штампування

Рисунок 3.31 – Схема гідравлічного штампування з осьовою осадкою і поздовжнім обтисненням частини заготовки

Герметизуючи порожнину заготовки 1 осьовими пуансонами 7 і 8, проводять її попередню роздачу. Після цього буртами пуансонів надають

руху вкладишам 3, 4, 5 і 6, які переміщують метал у зону роздачі. Осадка заготовки пуансонами, поздовжній обтиск рухомими вкладишами і роздача рідиною високого тиску проходять одночасно. При цьому роздача середньої частини заготовки здійснюється без стоншення стінки, що досягається в результаті переміщення металу від торців заготовки рухомими вкладишами (рис. 3.31, б). Перевагами цього способу є можливість досягнення високих значень коефіцієнта роздачі шляхом створення сприятливих схем течії металу при мінімальній стонщенні стінок, а також можливість виготовлення деталей типу сільфонів з поперечними гофрами, що регулярно повторюються.

**Гідравлічне штампування з осью осадкою і поперечним деформуванням заготовки.** Цей спосіб знаходиться в стадії підготовки до широкого промислового використання. Він призначений для виготовлення деталей III групи.

У процесі штампування форма осі заготовки змінюється і з прямолінійної становиться ступінчатою. Така зміна проходить під впливом осьової осадки заготовки 1 (рис. 3.32) пуансонами 14 і силами зі сторони вкладишів 3 роз'ємної матриці 2, що прикладається в поперечному напрямі відносно напрямлення осі заготовки. Рідина, що поступає між диском у порожнину заготовки, перешкоджає появленню складок, а також сприяє зберіганню форми її поперечного перерізу. Переміщення осьових пуансонів 4 і поздовжніх вкладишів 3 повинні здійснюватися в певній послідовності і узгоджено.

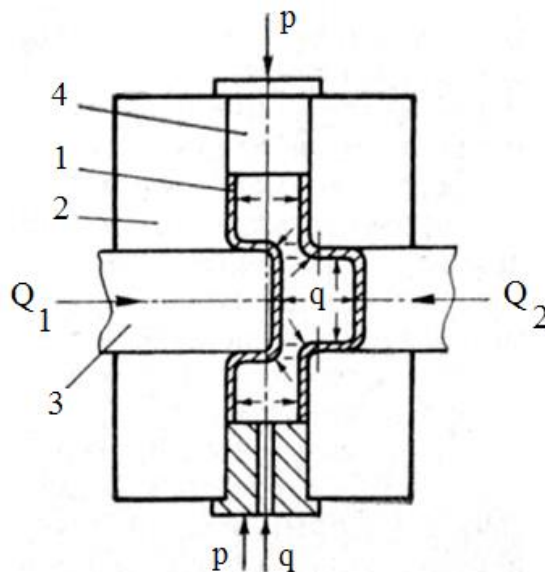


Рисунок 3.32 – Схема гідравлічного штампування з поперечним переміщенням вкладишів матриці

### Питання для самоконтролю

1. Класифікація деталей за конструктивно-експлуатаційними ознаками.
2. Гідравлічне штампування простим навантаженням, схема.
3. Коефіцієнт роздач при гідравлічному штампуванні простим навантаженням.

4. Переваги і недоліки при гідравлічному штампуванні простим навантаженням.
5. Гідравлічне штампування з осьовою осадкою заготовки, схема.
6. Коефіцієнт роздач при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою заготовки.
7. Переваги і недоліки при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою заготовки.
8. Гідравлічне штампування з осьовою осадкою заготовки і поздовжнім обтисненням частини, що роздається, схема.
9. Переваги і недоліки при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою заготовки і поздовжнім обтисненням частини.
10. Коефіцієнт роздач при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою заготовки і поздовжнім обтисненням частини.
11. Гідравлічне штампування з осьовою осадкою і поперечним деформуванням заготовки, схема.
12. Переваги і недоліки при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою і поперечним деформуванням заготовки.
13. Коефіцієнт роздач при гідравлічному штампуванні з осьовою осадкою і поперечним деформуванням заготовки.

### **3.12 Процес накопичення деформації**

Великі пластичні деформації давно цікавлять дослідників. Зараз ці дослідження набули додаткового значення у зв'язку зі швидко зростаючим інтересом до так званих нано- і субмікроматеріалів, структурні елементи яких мають розміри 10...100 нм і 100...1 000 нм відповідно.

У результаті великих пластичних деформацій металів розміри їх структурних елементів (кристалітів, фрагментів, меж поділу і т. д.) зменшуються і досягають значень, характерних для нано- і субмікроматеріалів. Унаслідок цього сильно деформовані метали набувають якісно нових властивостей, багато з яких викликають практичний інтерес. Зокрема, вони мають аномально високу пластичність у поєднанні з великою міцністю. Є результати, що вказують на можливість отримання надпластичності деяких металів при кімнатних температурах [10].

Для здійснення великих пластичних деформацій можна використовувати різні процеси обробки тиском: прокатку, волочіння, пресування та ін. Однак монотонна формозміна заготовки (постійне збільшення довжини при прокатці і волочінні, зменшення висоти при осадці), вочевидь, призводить до того, що при великих деформаціях її розмір, хоча б в одному з напрямів, стає надзвичайно малим. Це різко скорочує область подальшого використання таких заготовок.

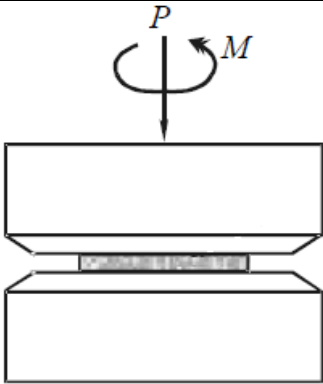
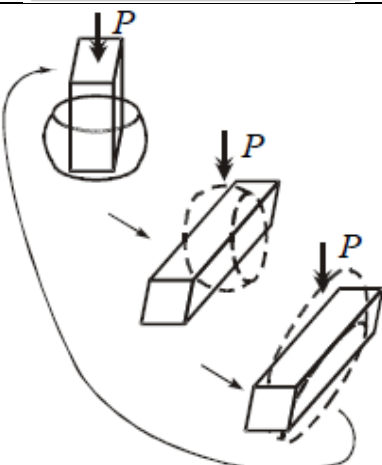
Дослідження показують, що ефект великих деформацій при певних умовах можна отримати шляхом немонотонної формозміни заготовок.

Це використовується в процесах обробки тиском, основною метою яких є накопичення деформації в заготовках, а не зміна їх форми. До таких процесів відносяться: рівноканальна кутова екструзія, всебічне кування, гвинтова екструзія та інші, які в подальшому ми назвемо процесами накопичення деформації (ПНД). Оскільки форма заготовки після ПНД практично збігається з вихідною, то є можливість багаторазової обробки заготовок для накопичення в них достатньої деформації.

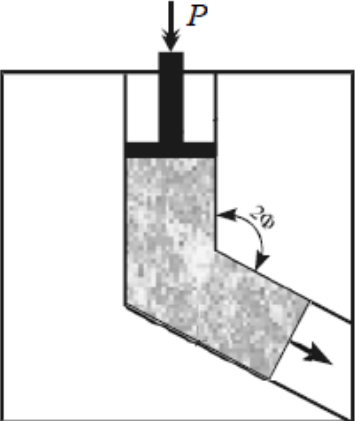
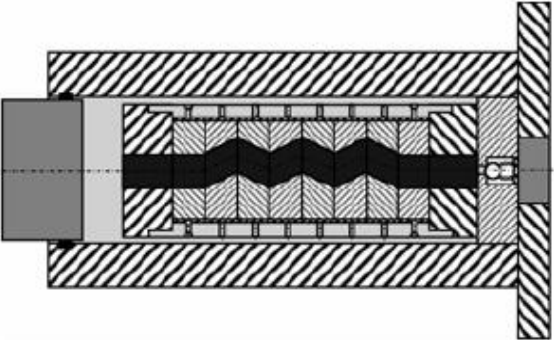
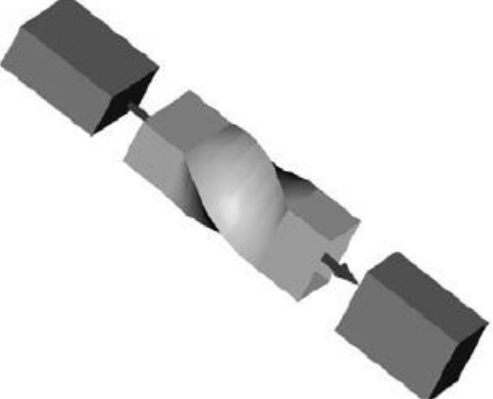
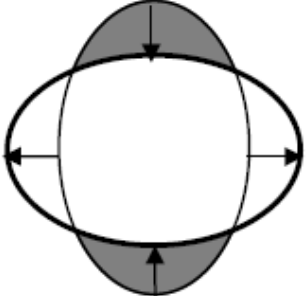
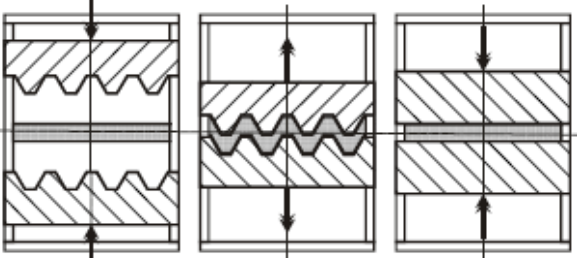
З одного боку, ПНД є процесами обробки тиском. Тому їх реалізація неможлива без вирішення характерних для таких завдань процесів: визначення напружено-деформованого стану заготовки, розрахунок силових параметрів процесу, проектування і виготовлення деформуючого інструменту і оснащення, підбір мастил і т. д. З іншого боку, ПНД – це не звичайні операції обробки тиском, метою яких є, перш за все, формозміна заготовок, а процеси, покликані формувати структуру матеріалів, що забезпечує задані фізико-механічні властивості.

Для отримання субмікрокристалічних структур в об'ємних зразках зараз використовують цілий ряд процесів накопичення деформації (табл. 3.2). Створити структури в поверхневих шарах заготовки можна за допомогою процесів поверхневої пластичної деформації, деформуючого протягування та тертя.

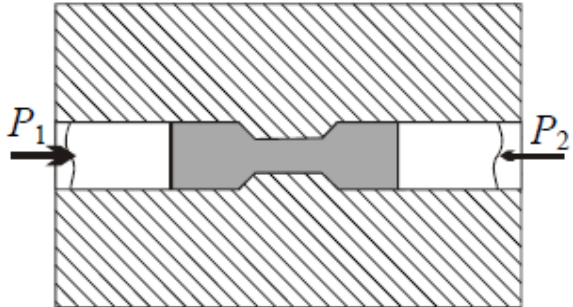
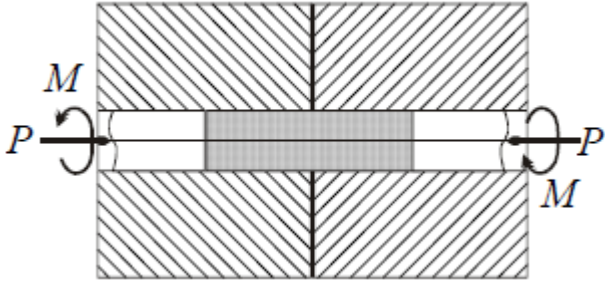
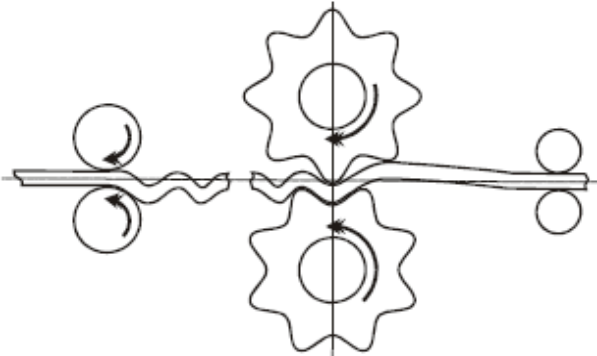
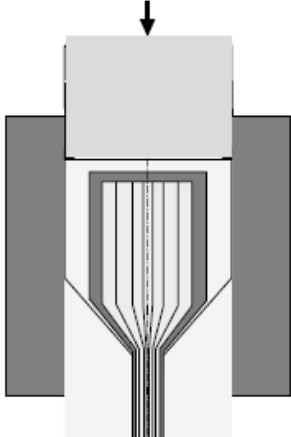
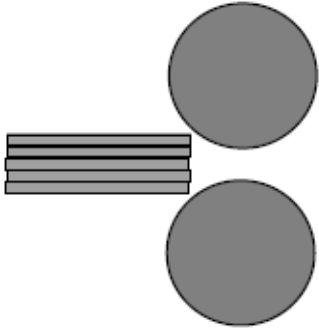
Таблиця 3.2 – Процеси накопичення деформації, які використовуються для обробки об'ємних заготовок

Схема	Назва (аббревіатура)
	<p>Кручення під високим тиском</p>
	<p>Всебічне кування</p>

Продовження таблиці 3.2

Схема	Назва (аббревіатура)
	<p>Рівноканальна кутова екструзія</p>
	<p>Рівноканальна багатокутова екструзія</p>
	<p>Гвинтова екструзія</p>
	<p>Розширюча екструзія</p>
	<p>Примусове рифлення пресуванням</p>

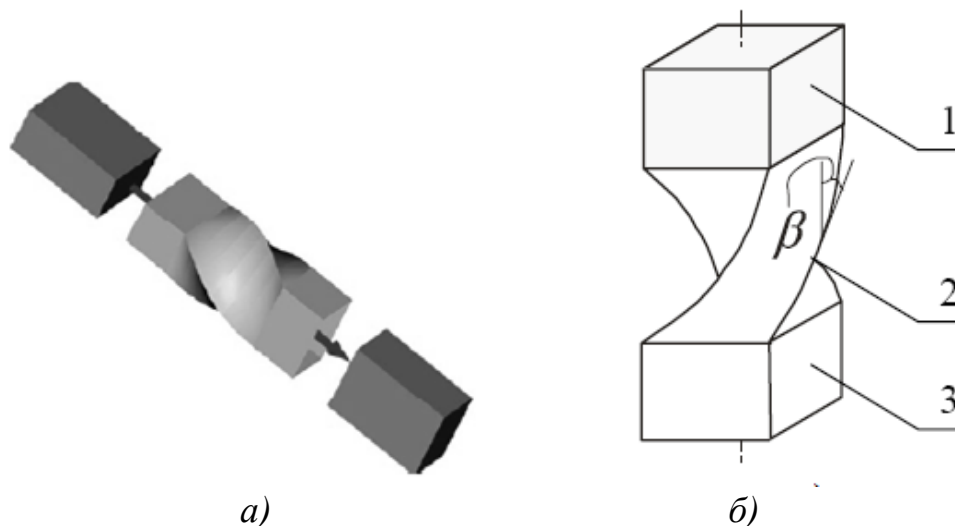
Продовження таблиці 3.2

Схема	Назва (аббревіатура)
	<p>Пісочний годинник</p>
	<p>Кручення в складеному контейнері під тиском</p>
	<p>Повторюване рифлення – випрямлення (ПРВ)</p>
	<p>Пакетна гідроекструзія</p>
	<p>Накопичуване з'єднання прокаткою</p>

Принцип дії ПНД, зазначених у таблиці, досить добре зрозумілий з наведених схем.

### 3.12.1 Схема гвинтової екструзії

Гвинтова екструзія (ГЕ) є одним з ефективних методів ущільнення порошкових і пористих матеріалів, тому що поєднує в собі високий тиск і інтенсивну пластичну деформацію. Суть ГЕ полягає в тому, що призматичну заготовку продавлюють через матрицю з гвинтовим каналом (рис. 3.33).



*а – схема проходження заготовки через гвинтову ділянку матриці;*

*б – схема каналу гвинтової матриці*

*Рисунок 3.33 – Схема, що пояснює суть гвинтової екструзії*

Канал матриці складається з трьох ділянок: вхідної 1, гвинтової 2 і калібруючої 3. Поперечні перерізи всіх ділянок однакові, тому форма заготовки після екструзії практично така ж, як і до неї. При проходженні через матрицю заготовка відчуває інтенсивну пластичну деформацію. Піддаючи заготовку багаторазовій екструзії (а це можливо саме тому, що форма екструдованої заготовки така ж, як і вихідної) можна накопичувати в металі великі деформації, істотно змінюючи його структуру.

Виконані нами дослідження показали, що деформація металу при ГЕ здійснюється в основному на вході і виході з гвинтової ділянки каналу матриці. Величина еквівалентної деформації за один прохід залежить, в основному, від кута  $\beta$  і для характерних значень цього кута (50...60), у середньому за перерізом заготовки, становить 1,0...1,2.

#### **Питання для самоконтролю**

- 1 Що відбувається в процесі накопичення деформацій?
- 2 Які процеси відбуваються із накопиченням деформацій?
- 3 Від чого залежить зміна структурних елементів металів?

- 4 Що значить поняття ПНД?
- 5 Дайте визначення поняттю гвинтова екструзія.
- 6 Схема гвинтової екструзії.
- 7 У яких методах ОМТ використовують гвинтову екструзію?
- 8 Чому гвинтова екструзія є одним з ефективних методів ОМТ?
- 9 З чого складається матриця для ГЕ?
- 10 У чому суть процесу ГЕ?

### **3.13 Профілювання заготовок витискуванням через привідні обертові валки**

У виробництві ковальсько-штампувальних цехів автомобільних, тракторних, авіаційних та інших машинобудівних заводів великий обсяг складають поковки з подовженою віссю і різкими перепадами в площях поперечних перерізів [5].

Економічність виготовлення таких поковок пов'язана із застосуванням раціональних способів і засобів попереднього профілювання заготовок перед штампуванням. Передовий досвід показує, що в умовах великосерійного і масового виробництва найбільш раціонально профілювати заготовки на кувальних вальцях. Розглядаючи технологічні можливості вальцювання, слід вказати, що для отримання фасонних заготовок з великим перепадом площ поперечного перерізу при невеликих діаметрах вихідного профілю потрібно 3...4 проходи на кувальних вальцях. Наявність великої кількості операцій при вальцюванні виробів тонким стрижнем або зі сталі з вузьким інтервалом температури кування призводить в ряді випадків до їх неприпустимого охолодження.

Витискування вигідно відрізняється від вальцювання можливістю отримання великих обтисків за один хід преса, створенням схеми всебічного стиснення, необхідної при виготовлення поковок з малопластичних сталей і сплавів. Проте ефективність видавлювання знижується через значну нерівномірність розподілу деформації, низьку стійкість інструменту, труднощі вилучення видавлених заготовок із штампа та отримання профілів змінного перерізу, зокрема, фасонних заготовок типу стрижня з потовщеннями на кінцях.

Одним із шляхів удосконалення профілювання заготовок може бути поєднання процесів вальцювання і видавлювання.

При заміні нерухомого очка матриці при видавлюванні приводними валками, які обертаються, на поверхні яких сили тертя сприяють залученню зовнішніх шарів заготовки в очко матриці, знижуються нерівномірність деформації і питомі сили на інструмент. Наявність гравюри рівчака на валках, профіль якого розраховується таким чином, щоб при повороті валків у процесі витискування змінювався перетин очка матриці, надає змоги отримувати фасонні заготовки змінного за довжиною поперечного перерізу.

На рисунку 3.34 схематично показані стадії формоутворення і отримується фасонна заготовка типу стрижня з потовщенням на кінцях. При освоєнні пропонованого процесу деформування металу першорядне значення набуває визначення закономірностей одержання фасонних заготовок необхідної конфігурації в залежності від кінематичних і геометричних параметрів процесу, штампа, профілювання валків і вибору вихідної заготовки.

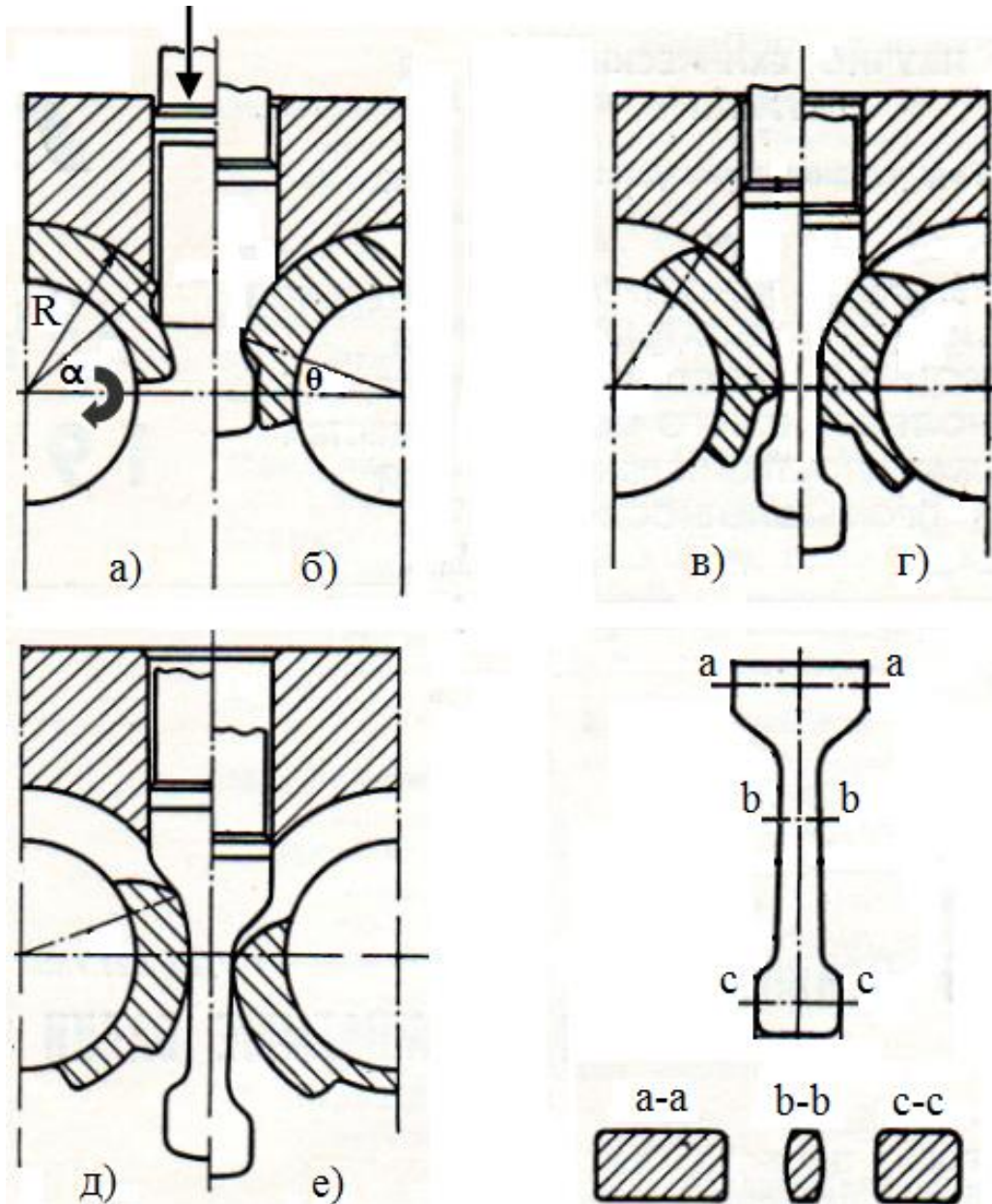


Рисунок 3.34 – Стадії формоутворення і отримання фасона заготовок типу стрижня з потовщеннями на кінцях

За характером формоутворення процес можна поділити на три основні стадії. У першій стадії (рис. 3.34, а, б), при проходженні передніх граней виступів валків від  $\alpha$  до  $0,0$  утворюються нижнє потовщення і перехідна ділянка від голівки до стрижня.

У другій стадії (рис. 3.34, в, г) при видавлюванні в очко, тобто до моменту підходу задніх граней виступів валків до кута  $\alpha$ , оформляється стрижень профільованої заготовки.

Третя стадія (рис. 3.34, д, е) характеризується утворенням як стрижня, так і верхнього потовщення голівки з перехідною ділянкою, які умовно назвемо контуром відставання.

У початковий період при повороті валків на деякий кут їх виступи занурюються в заготовку, відсікаючи обсяг металу, необхідного для оформлення нижнього потовщення. Деформація заготовки відбувається тільки за рахунок обтиску і впровадження виступів валків, а перехідна ділянка утворюється за рахунок обкатки металу передніми гранями виступів валків. Випередження відсутнє, так як кут захвату  $\alpha$  наближається до подвійного кута тертя або більше нього.

При підході пуансона до торця заготовки і її розпресування в контейнері починається витікання металу в зменшене очко матриці. Положення передніх граней валків у момент початку закінчення під дією пуансона характеризується кутом  $\theta$  (рис. 3.34, б), величина якого розраховується, виходячи зі співвідношення швидкостей обертання валків і руху пуансона, геометричних розмірів інструменту та вихідної заготовки.

### Питання для самоконтролю

1. Які типи поковок використовуються при профілюванні через привідні обертові валки?
2. У якому виробництві найбільш раціональне профілювання зотовок?
3. Спосіб найбільш раціонального профілювання заготовок.
4. У чому заключається ускладнення процесу вальцювання?
5. Чим пояснюється зниження ефективності процесу вальцювання?
6. Як відбувається процес вальцювання?
7. Які заготовки отримують фасонним профілюванням?
8. Назвіть стадії, з яких складається формоутворення процесу.
9. За рахунок чого відбувається деформація заготовок?
10. Під час чого відбувається витікання металу в процесі деформування?

### 3.14 Технологія екструзії

*Екструзія* – метод формування в екструдері виробів або напівфабрикатів необмеженої довжини продавлюванням розплаву полімеру через форму голівки з каналами необхідного профілю. Для цього використовують шнекові, або черв'ячні, екструдери [11].

Виробництво різних видів виробів методом екструзії здійснюється шляхом підготовки розплаву в екструдері і додання екструдату тієї чи іншої форми за допомогою продавлювання його через формуючі голівки відповідної конструкції з подальшими охолодженням, калібруванням і т. д.

### ***3.14.1 Види екструзії***

При холодній синій екструзії можливі лише механічні зміни в матеріалі внаслідок повільного його переміщення під тиском і формуванням цього продукту з утворенням заданих форм.

При теплій екструзії сухі компоненти сировини змішуються з певною кількістю води і подають в екструдер, де поряд з механічним його піддають ще й тепловому впливу. Продукт нагрівається ззовні. Одержуваний екструдат відрізняється невеликою щільністю, незначним збільшенням в обсязі, пластичністю, а також пористою будовою. Іноді екструдат необхідно підсушувати.

Гаряча екструзія – процес, який протікає при високих швидкостях і тисках, значному переходу механічної енергії в теплову, що призводить до різних за глибиною змін у якісних показниках матеріалу. Крім того, може мати місце регульоване підведення тепла як безпосередньо до продукту, так і через зовнішні стінки екструдера. Масова частка вологи в сировині при гарячій екструзії становить 10...20 %, а температура перевищує 120°C.

### ***3.14.2 Будова екструдера***

За будовою і принципом роботи основного вузла, способу продавлювання розплаву в голівку, екструдери поділяються на шнекові, безшнекові і комбіновані.

Основним обладнанням для переробки пластмас методом екструзії служать шнекові машини, які називають також черв'ячними пресами.

В окремих випадках переробки пластмас застосовуються безшнекові, або дискові, екструдери, в яких робочим органом, через який продавлюється розплав в голівку, є диск особливої форми. Рушійна сила, що продавлює розплав, створюється в них за рахунок розвитку в розплаві нормальних напружень, спрямованих перпендикулярно дотичним (що збігається з напрямком обертання диска).

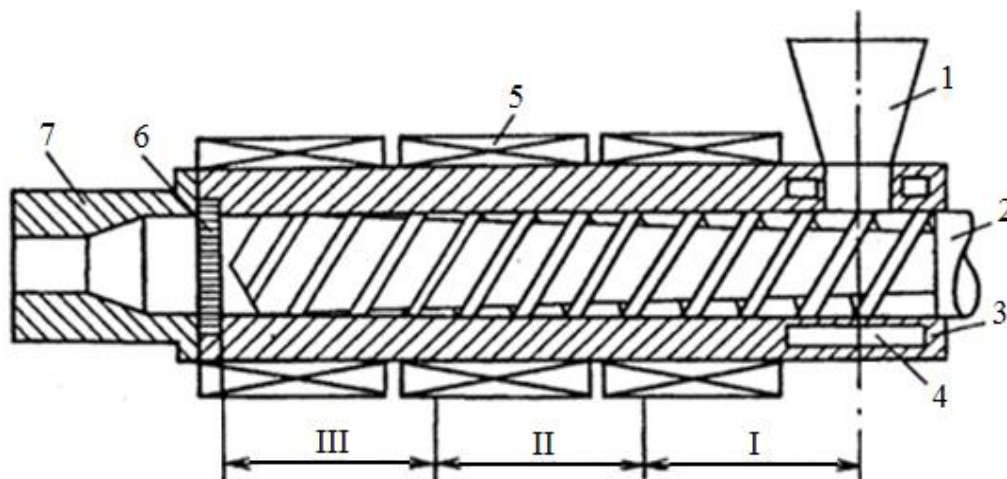
Дискові екструдери застосовуються, коли необхідно отримати краще змішання компонентів суміші. Через неможливість розвивати високий тиск формування такі екструдери застосовуються для отримання виробів з відносно невисокими механічними характеристиками і низькою точністю геометричних розмірів.

Комбіновані екструдери мають у якості робочого органу пристрій, що поєднує шнекову і дискову частини, і називаються черв'ячно-дисковими. Вони застосовуються для забезпечення гарного змішувального ефекту, особливо при переробці композитів. На них переробляються розплави пластмас, що мають низьку в'язкість і досить високу еластичність.

Шнекові екструдери можуть бути різних типів: одно- і двошнекові; одно- і двоступінчасті; універсальні та спеціалізовані; з осцилюючим (уздовж осі) і одночасно обертовим шнеком; із зоною дегазації та без неї; з обертанням шнеків в одну і в протилежні сторони, і т. п.

Найбільш простим є одношнековий екструдер без зони дегазації (рис. 3.35).

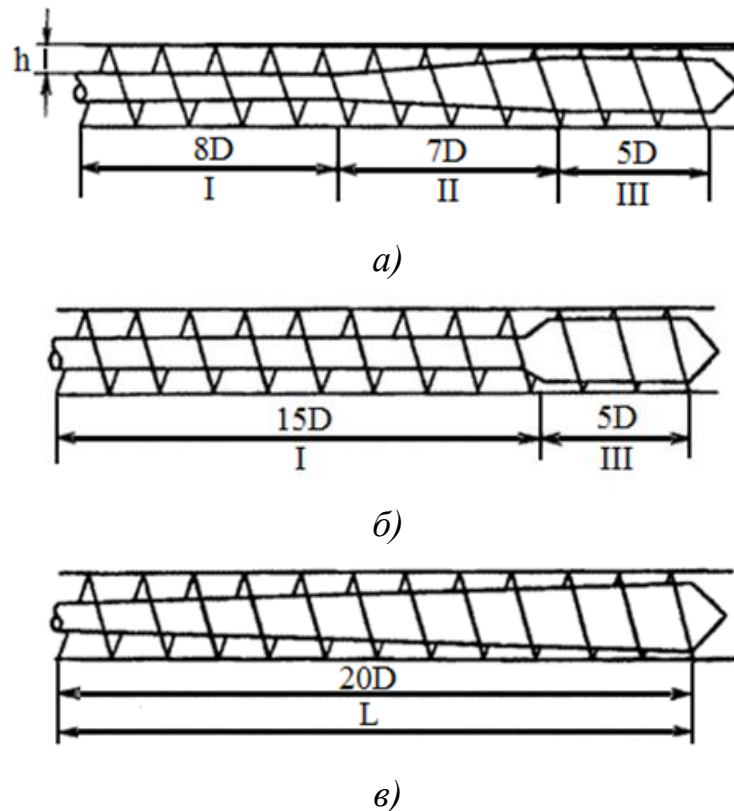
Основними елементами екструдера є циліндр, який обігривається, шнек (з охолодженням або без нього), сітки, що розміщуються на решітці, і формуюча голівка. Залежно від природи полімеру, технологічних режимів переробки застосовуються шнеки різного профілю, зокрема з різним характером зміни глибини  $h$  нарізки за довжиною шнека (див. рис. 3.35).



1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – порожнина для циркуляції води;  
5 – нагрівач; 6 – ґрати з сітками; 7 – формуюча голівка;  
I, II, III – технологічні зони

Рисунок 3.35 – Схема одношнекового екструдера

Залежно від виду виробу, який виробляється, застосовують коротко- або довгошнекові машини, тобто з малим або великим відношенням довжини  $L$  до діаметра  $D$  шнека ( $L / D$ ) (рис. 3.36). Значення  $D$  і  $L / D$  є основними характеристиками одношнекового екструдера. Параметричний ряд вітчизняних екструдерів побудований за діаметрами шнека:  $D = 20; 32; 45; 63; 90; 125; 160; 200; 250; 320$  мм. У найменуванні типорозміру преса вказуються  $D$  і  $L / D$ .



*а – шнек загального призначення з трьома (I, II, III) геометричними зонами; б – шнек для переробки висококристалічних полімерів; в – шнек для екструзії ПВХ; D – зовнішній діаметр; L – технологічна довжина шнека; h – глибина нарізки шнека*  
**Рисунок 3.36 – Основні типи шнеків**

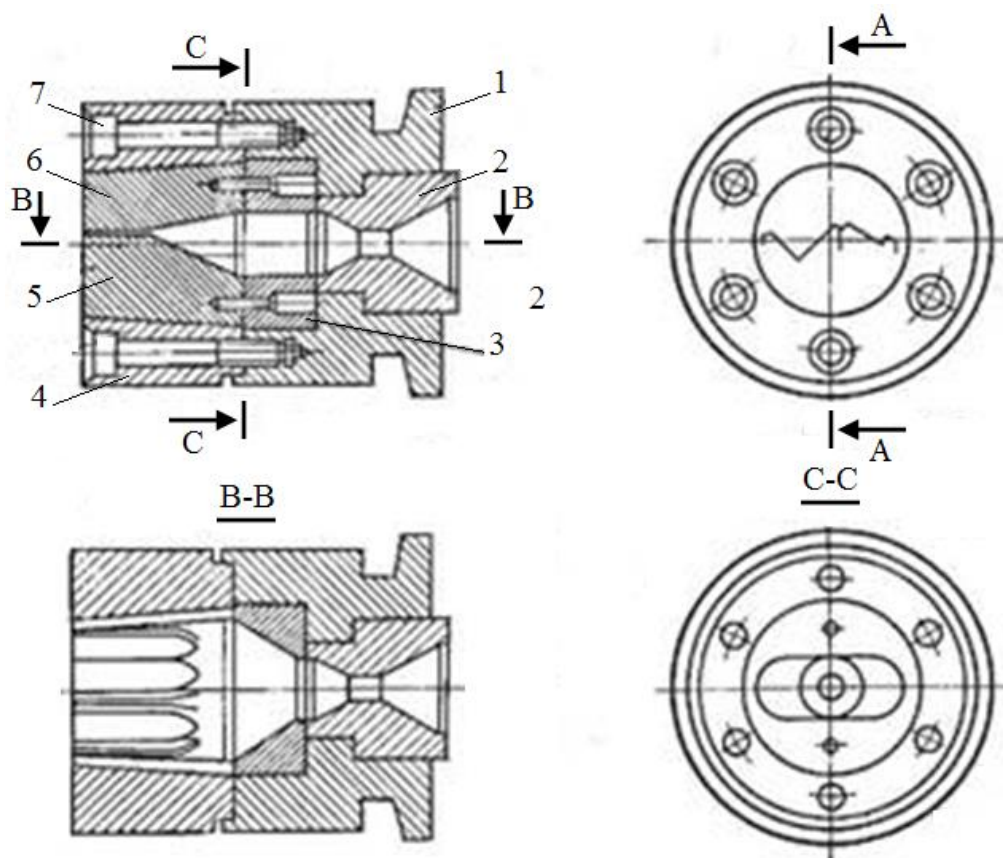
### **3.14.3 Екструзійні агрегати для виготовлення профільних виробів**

Екструзійні агрегати для виготовлення профілів складаються з тих самих пристроїв і механізмів, що і агрегати для виготовлення труб. Відмінність зводиться до дещо інших конструкцій голівки і калібрує пристрої, специфіка яких визначається конфігурацією поперечного перерізу виробу, який екстругується.

Профільні вироби поділяють на порожнисті і відкриті. Оскільки калібрувати порожнисті профілі значно простіше, ніж відкриті, доцільно, якщо можливо, виготовляти останні розрізанням порожнистих. Поперечний переріз виробу слід спрощувати наскільки це можливо, віддаючи перевагу рівнотовщинним конструкціям. Переріз порожнини необхідно робити максимальним, щоб забезпечити високу жорсткість дорна голівки.

Можна виділити два типи голівок для виготовлення профільних виробів (рис. 3.37): з плавною і різкою зміною перерізу профілюючого каналу. Голівки другого типу конструктивно простіше голівок першого типу. Вони застосовуються, головним чином, для екструзії профілів з пластифікованого і неластифікованого ПВХ.

Складні профілі з непластифікованого ПВХ виготовляють на голівках першого типу, що відрізняються відсутністю застійних зон. Переріз профілюючого каналу намагаються робити симетричним. Канал голівки можна умовно розділити на три зони: вхідну, перехідну та форми з постійними розмірами поперечного перерізу. При перебігу розплаву по каналу в межах першої і другої зон у полімері виникають накопичені високоеластичні деформації, релаксація яких відбувається при перебігу полімеру по каналу третьої (формуючої) зони і вимагає певного часу. Тому довжина формуючої зони повинна бути тим більше, чим більше час релаксації.



1 – корпус; 2 – опорна втулка; 3 – розширювач потоку;  
 4 – конічна втулка кріплення матриці; 5 – нижня половина матриці;  
 6 – верхня половина матриці; 7 – гвинт  
 Рисунок 3.37 – Голівка з різкою зміною перерізу профілюючого каналу

### Питання для самоконтролю

- 1 Дайте визначення поняттю екструзія.
- 2 Види екструдерів.
- 3 Основні елементи екструдера.
- 4 Основні типи шнеків.

### 3.15 Штампування поковок з рідкого металу

Технологія штампування з рідкого металу – нове досягнення ливарного і ковальсько-штампувального виробництва. Вона поєднує в собі основні переваги лиття і штампування, тому що, з одного боку, забезпечує гарне заповнення порожнини рівчака штампа рідким металом, а з іншого – поковки набувають високу щільність при кристалізації рідкого металу під тиском [9, 13].

Штампування поковок з рідкого металу є однією з найбільш прогресивних технологій, що дозволяють отримувати поковки зі зменшеними припусками на механічну обробку, виходом придатного по рідкому металу до 95...98 %, високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, її можна застосовувати в будь-якому виробництві.

Велика перевага цієї технології – можливість отримання складних фасонних поковок типу втулок, фланців, кришок, шестерень та інших як круглої, так і прямокутної форми з низькою шорсткістю поверхні і точними геометричними розмірами, близькими за формою і розмірами до готових деталей. При штампуванні в штампах з нероз'ємними матрицями механічну обробку застосовують для отримання необхідних вертикальних розмірів через їх недостатню точність і діаметральних розмірів через наявність уклонів. У разі штампування в роз'ємних матрицях виготовляють поковки без уклонів, які по зовнішньому діаметру можна не обробляти.

При штампуванні великих партій поковок для кожного типу поковки виготовляють свій штамп, при штампуванні в умовах дрібно- і середньосерійного виробництва економічно доцільно застосовувати груповий метод, при якому для виробництва тієї чи іншої поковки даної групи використовують універсальний груповий блок і виготовляють тільки змінний формотворний інструмент (вставки, вкладиші), що складається, як правило, з трьох-чотирьох деталей.

Технологія штампування поковок з рідкого металу дозволяє використовувати відходи від лиття, штампування (облой і перемички), механічної обробки (стружку) як чорних, так і кольорових металів, і значно підвищити коефіцієнт використання металу. Низькі питомі витрати шихтових матеріалів і низькі витрати рідкого металу визначають зниження паливно-енергетичних витрат у 1,5...2 рази.

Дуже ефективною ресурсозберігаючою технологією виготовлення високоякісних заготовок є електрошлакова технологія. За своїми механічними властивостями метал, одержаний електрошлаковою технологією, рівноцінний кованому металу і відрізняється від останнього великою щільністю, стабільністю та ізотропністю властивостей. Високі механічні властивості металу, отриманого електрошлаковою технологією, дозволяють зменшити масу чистової деталі без зниження її експлуатаційних якостей.

Фасонні заготовки для особливо відповідальних деталей машин, що використовуються в енергетичному, хімічному, важкому і транспортному

машинобудуванні, успішно отримують електрошлаковою технологією. Застосування заготовок, виготовлених електрошлаковою технологією, замість поковок, особливо з легованої сталі, дає значний економічний ефект і підвищує коефіцієнт використання металу в 1,5...2 рази.

Великі перспективи має електрошлакова технологія при виробництві заготовок для штампів. Вже сьогодні вона дозволяє отримувати штампи і штампові вставки з готовими рівчачками. Стійкість електрошлакового штампового інструменту, в порівнянні з кованим, збільшується в 1,3...1,5 рази. Завдяки своїй простоті електрошлакова технологія може бути успішно застосована на будь-якому (незалежно від його розмірів) машинобудівному підприємстві.

Штамування поковок з рідкого металу, будучи прогресивним технологічним процесом їх виготовлення, в цілому ряді випадків успішно вирішує проблему підвищення якості виробів, дозволяє позбутися від ряду недоліків, які притаманні іншим методам виготовлення деталей складної конфігурації. У порівнянні з литтям під тиском штампування поковок з рідкого металу має ту перевагу, що воно дозволяє отримувати поковку складного профілю майже без пір і раковин.

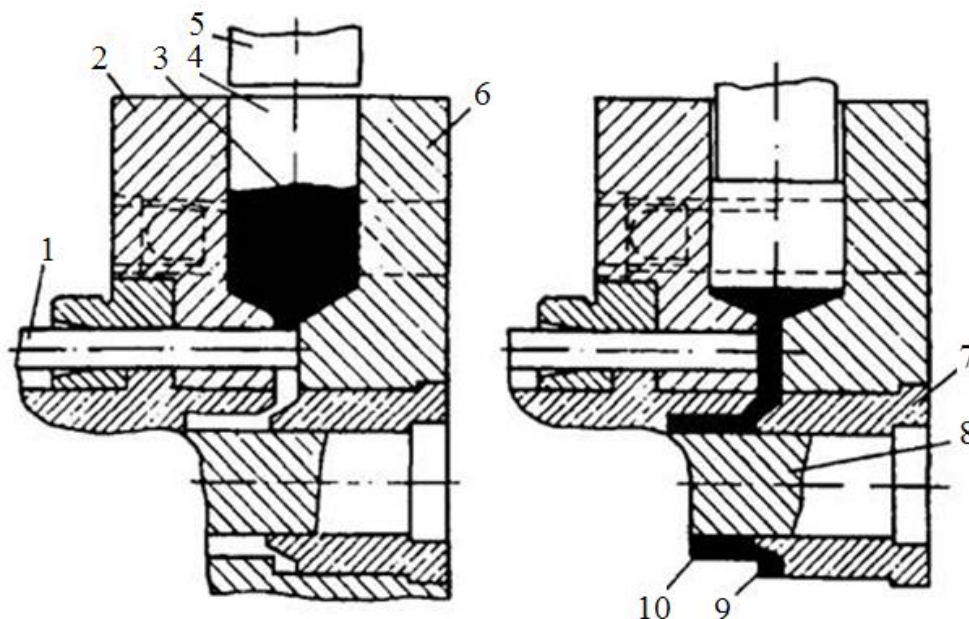
Цей прогресивний технологічний процес поєднує в собі переваги як ливарного виробництва (використання рідкого металу і заповнення їм необхідної форми), так і штампувального (застосування високого тиску і спеціальних штампів). При перерахунку виготовлення поковок з кування на штампування з рідкого металу економія кольорових металів досягає 50...70 %.

Штамування з рідкого металу дозволяє отримувати щільні поковки дуже складної конфігурації зі зменшеними припусками на механічну обробку, з виходом придатного по рідкому металу до 95 %, з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями. Точність заготовок відповідає 11, 12-му квалітетам, а шорсткість поверхні 2,5...5 мкм. У деяких випадках отримані поковки використовують в машинах і пристроях без подальшої обробки.

Сутність процесу штампування з рідкого металу полягає в тому, що рідкий метал подається не в спеціальну камеру стиску, як це робиться при литті під тиском, а безпосередньо в порожнину штампа, а потім під дією пуансона гідравлічного, пневматичного або гвинтового преса деформується так само, як і при гарячому об'ємному штампуванні в закритому штампі і витримується під тиском до повної кристалізації. Застосування тиску при формоутворенні дозволяє усунути основний недолік, який зустрічається при литті під тиском – порожнечі, газові та усадочні раковини. Поковки простої конфігурації без бічних виступів і западин штампують у штампах з нероз'ємними матрицями, а заготовки складної конфігурації з відростками і піднутреннями – у штампах з роз'ємними матрицями (рис. 3.38).

Штамувати в рідкому стані можна як кольорові, так і чорні сплави. При цьому метал знаходиться в стані тривісного нерівномірного стиснення,

розтягуючі напруження відсутні, що надає змоги штампувати малопластичні і ливарні сплави, які за звичайних процесів важко або зовсім не деформуються.



1 – стрижень, який перекриває ливниковий отвір;  
 2 – рухома половина форми; 3 – рідкий метал; 4 – наповнювальний стакан;  
 5 – пуансон; 6 – нерухома половина форми; 7 – втулка;  
 8 – стрижень; 9 – кільцевий колектор; 10 – відлита деталь  
 Рисунок 3.38 – Форма для отримання фасонних виливків методом видавлювання рідкого металу

Формоутворення поковок з рідкого металу має ряд переваг перед куванням і гарячим об'ємним штампуванням, особливо при виготовленні поковок складної конфігурації: значне зменшення витрати металу через відсутність витрат на різку, неkratності вихідного прутка, можливість отримання заготовок (поковок), форма і розміри яких максимально наближаються до форми і розмірів готової деталі; відпадає необхідність виготовлення мірної заготовки по діаметру і висоті, а, отже, мати на заводі великий сортамент прокату; вартість матеріалу заготовок знижується на 30...60 %, так як вихідним матеріалом служить не сортовий прокат, а шихта, яка складається з чушок для переплавки і відходів металу; потрібна потужність пресового устаткування знижується в 10...20 разів.

До недоліків штампування заготовок (поковок) з рідкого металу можна віднести таке: продуктивність штампування нижче, ніж при гарячому об'ємному штампуванні, враховуючи необхідність витримки рідкого металу в штампі під тиском; тривала взаємодія рідкого металу зі стінками штампа веде до появи на них разгарних тріщин, у результаті стійкість штампів виявляється нижче, ніж при гарячому об'ємному штампуванні.

### Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється штампування поковок з рідкого металу від інших технологій?
2. Типи поковок, якими отримують штампування з рідкого металу.
3. Сутність штампування з рідкого металу.
4. Переваги технології штампування поковок з рідкого металу.
5. За рахунок чого підвищується коефіцієнт витрати металу при штампуванні поковок з рідкого металу?
6. Що являє собою електрошлакова технологія?
7. На якому обладнанні можливе штампування поковок з рідкого металу?
8. Чому електрошлакова технологія надає змоги отримувати високоякісні вироби?
9. Поясніть, яким чином відбувається штампування поковок з рідкого металу?
10. Перелічте недоліки штампування поковок з рідкого металу.

### 3.16 Гідропресування металів

Гідропресування – це пресування рідиною високого тиску, причому для створення тиску на метал, що деформується, може діяти як одна рідина, що подається в контейнер під тиском 10...30 тис. кг/см<sup>2</sup>, так і прес-штемпель, що впливає на заготовку і рідину, в якій вона знаходиться. В останньому випадку процес називають гідромеханічним пресуванням [12].

На рисунку 3.39 наведено основні схеми гідропресування металів. За способом створення тиску в робочій рідині всі схеми гідропресування можна поділити на дві принципово різні групи:

1. Установки з винесеним джерелом тиску рідини (рис. 3.39, а).

2. Установки прямої дії, в яких тиск рідини в контейнері створюється при безпосередньому переміщенні ущільненого пуансона (рис. 3.39, б).

Обидві ці групи мають переваги і недоліки. Установки першого типу мають такі переваги:

1) відсутні рухливі ущільнення в контейнері;

2) можливість видавлювання заготовок великого діаметра і великої довжини;

3) можливість живлення декількох контейнерів від одного джерела по черзі.

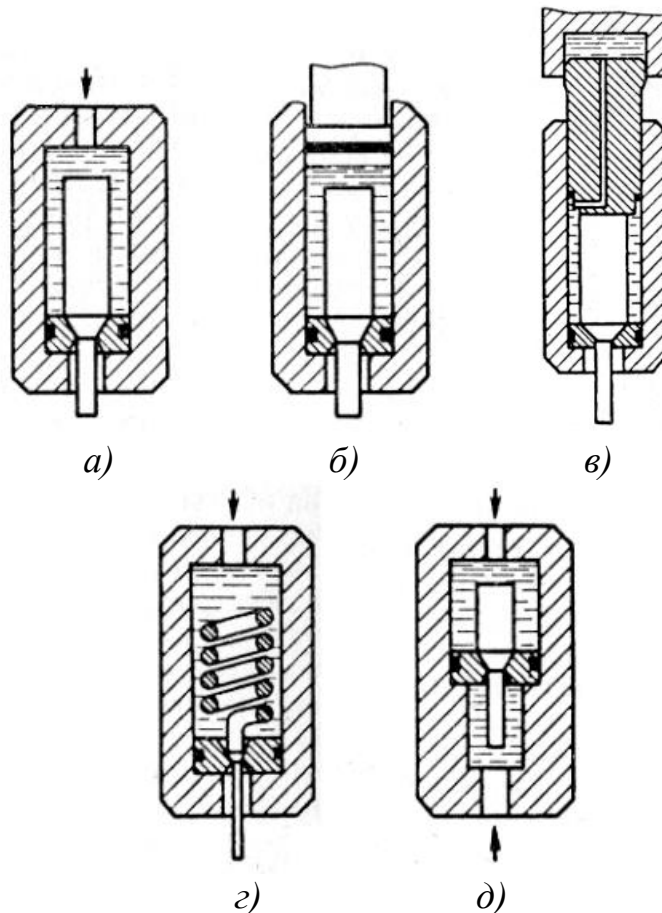
Недоліки установок з винесеним джерелом тиску рідини:

1) громіздкість;

2) велика кількість сполучних вузлів, які потребують спеціальної системи ущільнення;

3) необхідність застосування дефіцитних товстостінних труб високого тиску;

- 4) значні втрати тиску в трубах з каналом малого діаметра;  
 5) видавлювання здійснюється при постійному збільшенні об'єму рідини високого тиску, що викликає підвищення її витрат. Надзвичайно небезпечним стає кінцевий момент пресування при розрядці контейнера;  
 6) значна частина енергії витрачається непродуктивно на стискання великої кількості рідини.



*а – компресне гідростатичне пресування;  
 б – безкомпресне (пряме) гідропресування;  
 в – гідромеханічне пресування;  
 г – гідропресування дротяної заготовки;  
 д – гідростатичне пресування із протитиском*  
 Рисунок 3.39 – Основна схема гідропресування металів

Установки з винесеним джерелом тиску рідини можна поділити на установки компресорного та мультиплікаторного типу. В установках компресорного типу рідина високого тиску нагнітається через зворотний клапан спеціальним гідрокомпресором у робочу порожнину контейнера.

Основні недоліки компресорних установок – ненадійність роботи зворотного клапана і відносно низькі (8 000...10 000 ат) тиски рідини, при яких забезпечується надійна робота установок.

Установки типу мультиплікатора дозволяють перетворювати тиск насоса або гідрокомпресора до тисків порядку 20 000...30 000 ат. Однак установки складні в експлуатації і відрізняються низькою продуктивністю.

Установки прямої дії з безпосереднім створенням гідростатичного тиску рідини в контейнері мають такі основні переваги:

- 1) для пресування цим методом легко переобладнати промислові вертикальні і горизонтальні преси;
- 2) конструкція компактна;
- 3) видавлювання можна здійснити мінімальною кількістю рідини, яка в процесі пресування залишається постійною;
- 4) невелика кількість вузлів, що вимагають спеціальної системи ущільнення;
- 5) висока продуктивність процесу.

Недоліки установок прямої дії:

- 1) необхідність великих переміщень плунжера при великій довжині заготовок;
- 2) розміщення ущільнень безпосередньо в контейнері призводить до зростання їх розмірів при збільшенні внутрішнього діаметра контейнера, при цьому зменшується надійність ущільнень.

### **Питання для самоконтролю**

- 1 Що таке гідропресування?
- 2 Назвіть основні схеми гідропресування металів.
- 3 Переваги основних схем гідропресування металів.
- 4 Недоліки основних схем гідропресування металів.
- 5 Переваги установок прямої дії з безпосереднім створенням гідростатичного тиску рідини в контейнері.
- 6 Недоліки установок прямої дії з безпосереднім створенням гідростатичного тиску рідини в контейнері.

## 4 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

### 4.1 Високошвидкісний метод штампування

Штампування деталей традиційними (статичними) методами виконують на гідравлічних, фрикційних, ексцентрикових і кривошипних пресах, кувальних машинах і молотах. Розвиток ковальсько-пресового устаткування (збільшення його кінетичної енергії) в основному здійснювався за рахунок зростання потужностей приводу, габаритних розмірів і маси маховиків, рухомих і ударних частин, а також штампового оснащення пресів і молотів при порівняно невеликих (0,1...6 м/с) швидкостях деформування металу [14].

При високошвидкісному деформуванні металу збільшення потужності (енергії) процесу здійснюється за рахунок високої швидкості (50...300 м/с) перетворення енергії, що є основною відмінністю цього методу штампування від статичних методів. До високошвидкісних деформуючих процесів обробки металів відносяться: штампування вибухом, електрогідравлічне штампування, магнітно-імпульсне штампування.

У більшості випадків ці процеси здійснюються із застосуванням спрощеного штампового оснащення (без пуансона або матриці), що є їх важливою перевагою. Нескладність оснащення, її низька вартість у порівнянні з інструментальними штампами, застосовуються при обробці металів статичними методами, а також можливість здійснення без застосування потужного (енергоємного) пресового обладнання забезпечують ефективне використання високошвидкісних методів штампування деталей. Ці переваги особливо проявляються при виготовленні великогабаритних деталей з важкодеформованих сталей і сплавів в дослідному і дрібносерійному виробництві.

До переваг високошвидкісних методів штампування можна віднести також порівняно невеликі витрати на організацію виробничої ділянки: обладнання, експлуатацію установок, прискорення термінів підготовки виробництва, що забезпечує мобільність останнього при виготовленні великогабаритних, складних деталей з важкодеформованих сталей і ін.

За допомогою вибуху та магнітно-імпульсної обробки можна не тільки виготовляти листові і трубчасті деталі, але й виконувати операції плакування та зварювання металів, штампування металокераміки, отримувати нероз'ємні з'єднання (наприклад, при складанні деталей), здійснення яких іншими методами неможливо або неекономічно. У процесі високошвидкісного штампування спостерігається збільшення міцності ( $\sigma_v$ ,  $\sigma_t$ , HB) – метал значно зміцнюється. Крім того, відсутня (зменшується) пружність при формоутворенні металів, які складно деформуються, з одночасним підвищенням їх пластичності, що забезпечує одержання точних форм і розмірів складних деталей.

До недоліків високошвидкісних процесів обробки слід віднести: специфічні, а іноді й досить складні вимоги безпеки при виконанні штампування вибухом і використанні потужних електричних розрядів; труднощі реорганізації сформованого машинобудівного виробництва; недостатність інформації про економічність та результати впровадження цих процесів у виробництво; порівняно висока вартість порохових і бризантних зарядів і складність розрахунку вибухових розрядів; можливість місцевих руйнувань металів, які штамнуються. У зв'язку з цим високошвидкісні методи штампування не замінюють повністю традиційні методи, особливо в масовому і серійному виробництві.

Одним з високошвидкісних методів штампування є штампування вибухом, що характеризується високим тиском, який прикладають до заготовки протягом тисячної частини секунди. З її допомогою виконують витяжку, відбортовку, роздачу і обтиск труб, формування ребер жорсткості, калібрування, правку, вирубку та інші операції.

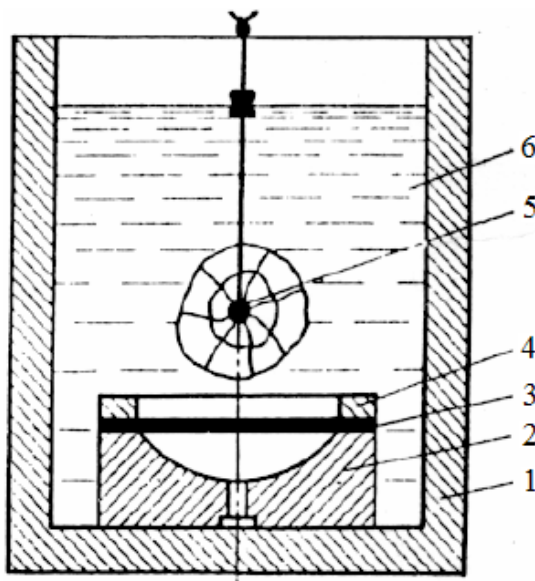
При штампуванні вибухом заряд розміщують або на поверхні заготовки (при цьому вибухова хвиля безпосередньо впливає на заготовку), або на деякій відстані від неї (у цьому випадку енергія вибуху передається через проміжне середовище: газ, рідина, пісок та ін.).

Основними перевагами штампування вибухом є такі: низька вартість оснащення; невеликі капітальні витрати; скорочення кількості технологічних переходів; висока точність обробки; можливість виготовлення деталей складної форми з крихких сплавів і сплавів, які важко деформуються. До недоліків відносяться неекономічність при великому обсязі виробництва, труднощі управління процесом, небезпека і незручність роботи з вибуховою речовиною. Унаслідок цього штампування вибухом застосовують тільки при виготовленні дослідних або одиничних зразків, а також у тих випадках, коли не можна застосувати штампування на пресі, наприклад, для отримання тонкостінних деталей (особливо деталей великих габаритних розмірів).

При штампуванні вибухом (рис. 4.1) заготовка деформується ударною хвилею напівсферичного фронту. Заготовку 3 укладають на матрицю 2 і притискають до дзеркала матриці притиском 4, щоб зменшити можливість складкоутворення. Простір між матрицею 2 і заготовкою 3 має бути розрізаним, тому повітря з матриць викачують вакуум-насосом. Над заготовкою 3 поміщають заряд вибухових речовин (ВР) 5 і установку заливають водою в басейні 1.

При вибуху заряду утворюються гази. Високий тиск утвореної газової кулі викликає появу у воді ударної хвилі, тиск якої через шар води передається на поверхню заготовки. Частина енергії ударної хвилі витрачається на прискорення заготовки, частина – на пластичну деформацію. Маса заряду визначається з урахуванням відстані до заготовки, виду вибухових речовин, діаметра, товщини і матеріалу заготовки, а також глибини штампування.

Розширення, які утворилися під час вибуху газів, гальмуються інерційними силами частинок води. При цьому шар води, що оточує газова куля, отримує імпульс, збуджуючий первинну ударну хвилю, у фронті якої з'являється дуже високий тиск. В ударну хвилю переходить до 40 % енергії вибуху. Таким чином, енергія сконцентрована в тонкому шарі води. Велика частина енергії вибуху залишається в газовій кулі, яка знову розширюється (але менш інтенсивно) після виникнення первинної ударної хвилі. Передбачається також, що газова куля пульсує, тобто стискується і розширюється. При її повторних розширення виникає вторинна ударна хвиля, однак з меншою енергією. Наприкінці процесу газ піднімаються до поверхні води.



1 – басейн; 2 – матриця; 3 – заготовка;  
4 – притискне кільце; 5 – заряд ВР; 6 – проміжне середовище  
Рисунок 4.1 – Схема штампування вибухом

### Питання для самоконтролю

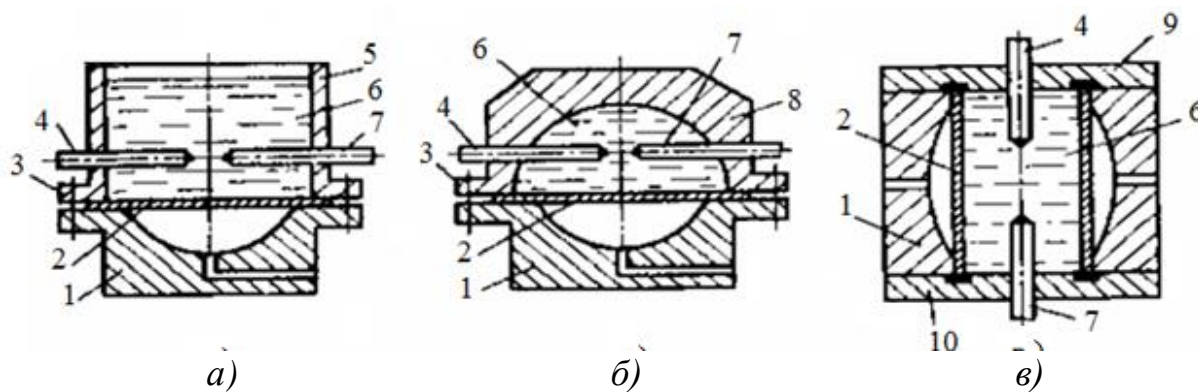
1. Що відбувається в процесі високошвидкісного штампування?
2. Переваги методів високошвидкісного штампування.
3. Деталі, які отримують за допомогою вибуху та магніто-імпульсної обробки.
4. Недоліки методів високошвидкісного штампування.
5. Послідовність процесу штампування вибухом. Переваги та недоліки.
6. Які операції можливо виконувати методами високошвидкісного штампування?
7. У чому полягає суть процесу штампування вибухом?
8. Назвіть основні переваги штампування вибухом.
9. Що відбувається з ударними хвилями під час штампування вибухом?
10. Поясніть схему штампування вибухом.

## 4.2 Електрогідрравлічне штампування (ЕГШ)

Електрогідрравлічним штампуванням зазвичай виготовляють деталі з листових заготовок товщиною 0,8...2 мм. При цьому мінімальні радіуси кривизни поверхні деталі, як правило, складають не менше 2...4 мм. Габаритні розміри плоских заготовок деталей складної форми, виготовлених ЕГШ, досягають 1 500 × 2 000 мм. Глибина штампувальних деталей – до 500...600 мм. На спеціальних електрогідрравлічних установках з переміщуваною однією або декількома розрядними камерами штамнують плоскі великогабаритні (до 3...3,5 м) деталі з різноманітними ріфтами або місцевими рельєфами. Деталі складної форми штамнують за кілька переходів через еластичну діафрагму і з використанням багатоелектродних розрядних камер. Максимальний діаметр і довжина оболонок, штампованих на спеціалізованих установках, звичайно не досягають 1 000 мм [14].

Існують два методи перетворення електричної енергії на механічну: розряд конденсатора через зазор у рідині і розряд конденсатора через зволікання. При ЕГШ метал деформують періодично повторюваними імпульсами високого тиску, що генеруються високовольтними розрядами в рідині або електричним вибухом провідників.

На рисунку 4.2 зображено схеми ЕГШ. Технологічні установки виконують з відкритою (рис. 4.2, а) або закритою (рис. 4.2, б, в) камерою (ємністю).



1 – матриці; 2 – заготовки; 3 – притиски; 4, 7 – електроди;  
5, 8 – відкрита і закрита камери; 6 – вода; 9, 10 – верхня і нижня кришки;  
а – у відкритій камері; б – у закритій камері;  
в – з трубчастої заготовки у закритій камері

Рисунок 4.2 – Схеми електрогідрравлічного штампування деталей

Листову заготовку 2 (див. рис. 4.2, а) укладають на матрицю 1 і за допомогою пристрою 3 притискають до неї. Ємність 5 заповнюють передавальним середовищем (водопровідною водою) 6. У воді на певній відстані від заготовки 2 розміщують робочі електроди 4 і 7 (позитивний

і негативний), з'єднані з генератором імпульсів струму електрогідравлічної установки.

При високовольтному електричному розряді між електродами 4 і 7 виникає струмопровідний іскровий канал. Розширення каналу розряду призводить до виникнення в рідині ударної хвилі.

Під дією тиску ударної хвилі, що утворюється при розширенні парогазової порожнини, і супутнього гідропотока, супроводжуваного кавітацією, відбувається деформування заготовки 2 по матриці 1.

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) електрогідравлічним штампуванням становить 5...20 %. Найбільший к.к.д. досягається в установках із замкнутим об'ємом рідини. На рисунку 4.2 показано розміщення робочих електродів 4 і 7 у закритій камері 8. Електроди 4 і 7 можуть бути встановлені також всередині трубчастої заготовки 2, вміщеній у закриту камеру, утворену матрицею 1 і кришками 9 і 10 (рис. 4.2, в).

При високовольтному розряді в рідині генеруються імпульси з амплітудою тиску, яка сягає  $10^9$  Па, і частотою 0,1...10 Гц, наслідком чого є висока швидкість деформування листових і трубчастих заготовок (десятки і сотні м/с) і незначний ( $10^{-4}$ ... $10^{-5}$  с) час деформації.

Незважаючи на настільки стислі проміжки часу деформації, у матеріалі встигають відбутися такі внутрішні зміни, які впливають не тільки на структуру і властивості заготовки після обробки, але і на результати технологічного процесу.

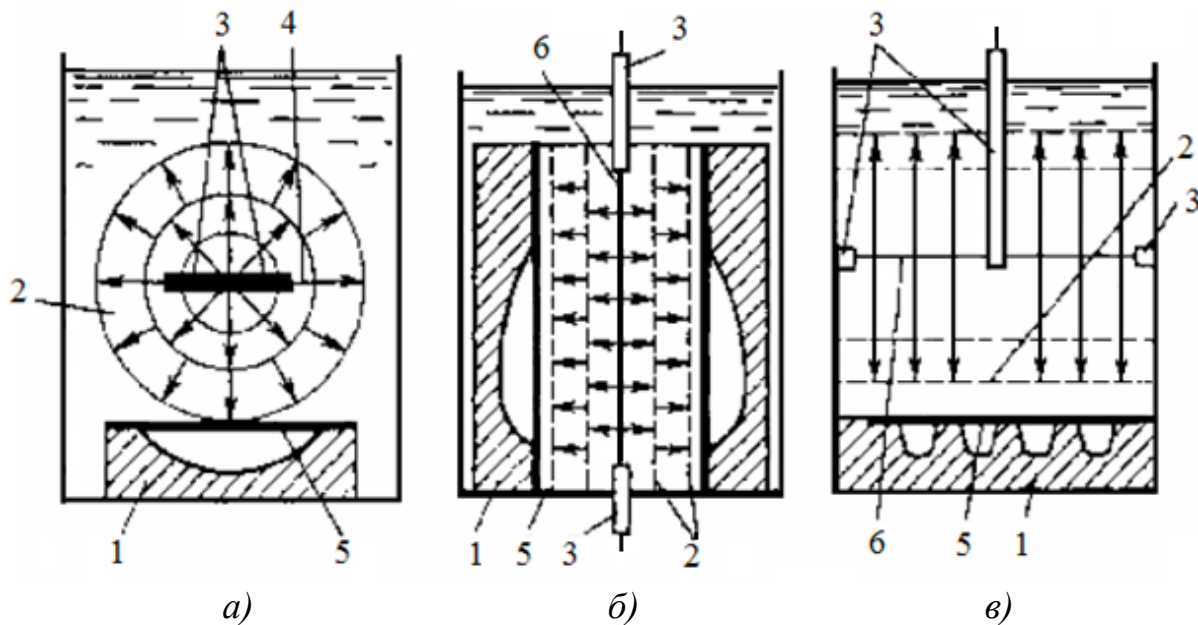
Виникаючи при електричному розряді ударні хвилі передаються від джерела через рідину до заготовки. Із звуковою швидкістю вони досягають поверхні заготовки, спочатку впливаючи на неї перпендикулярно, а потім за периферією. Джерело ударних хвиль діє періодично з частотою 0,1...10 Гц і може при цьому переміщатися на заданий крок за попередньо встановленою програмою. У результаті дії ударної хвилі починається деформування заготовки, а в її матеріалі збуджуються хвилі напружень. Швидкість деформування може сягати 20...400 м/с, а хвилі напружень у матеріалі, переміщаючись зі швидкістю звуку, швидко проходять крізь всю товщину заготовки і до чергового імпульсу встигають відбитися кілька разів.

Головним фактором, що визначає фронт ударної хвилі при розряді через зазор у рідині, є форма електродів і рефлекторів (відбивачів). Форма фронту ударної хвилі залежить від відстані між електродами (рис. 4.3). При незначній відстані між ними в результаті розряду утворюється хвиля зі сферичним фронтом (рис. 4.3, а), при досить великому (кілька сантиметрів) – хвиля з циліндричним фронтом (рис. 4.3, б).

Розряд через зазор у рідині характеризується нестійкістю, а вихідну потужність важко регулювати. Не завжди вдається вплинути на форму ударної хвилі шляхом зміни форми електродів і відбивачів.

Щоб полегшити управління формою і амплітудою генеруючої хвилі тиску і підвищити к.к.д. іскрового проміжку, електроди закорочують між

собою провідниками у вигляді перемички (містка). Перемичку виконують з тонкої проволочки б, згорнувши її спіраллю, або з фольги (рис. 4.3, б, в). Завдяки цьому шлях електричного розряду може бути зумовлений у напрямку і формі. Поєднуючи електроди дротиком, вдається поставити параметри ударної хвилі в залежність від форми розряду між електродами.



1 – матриці; 2 – фронти ударної хвилі; 3 – електроди;  
 4 – розрядні проміжки; 5 – заготовки; 6 – дротики, які вибухають;  
 а – сферичне формування; б – циліндричне формування;  
 в – плоске формування

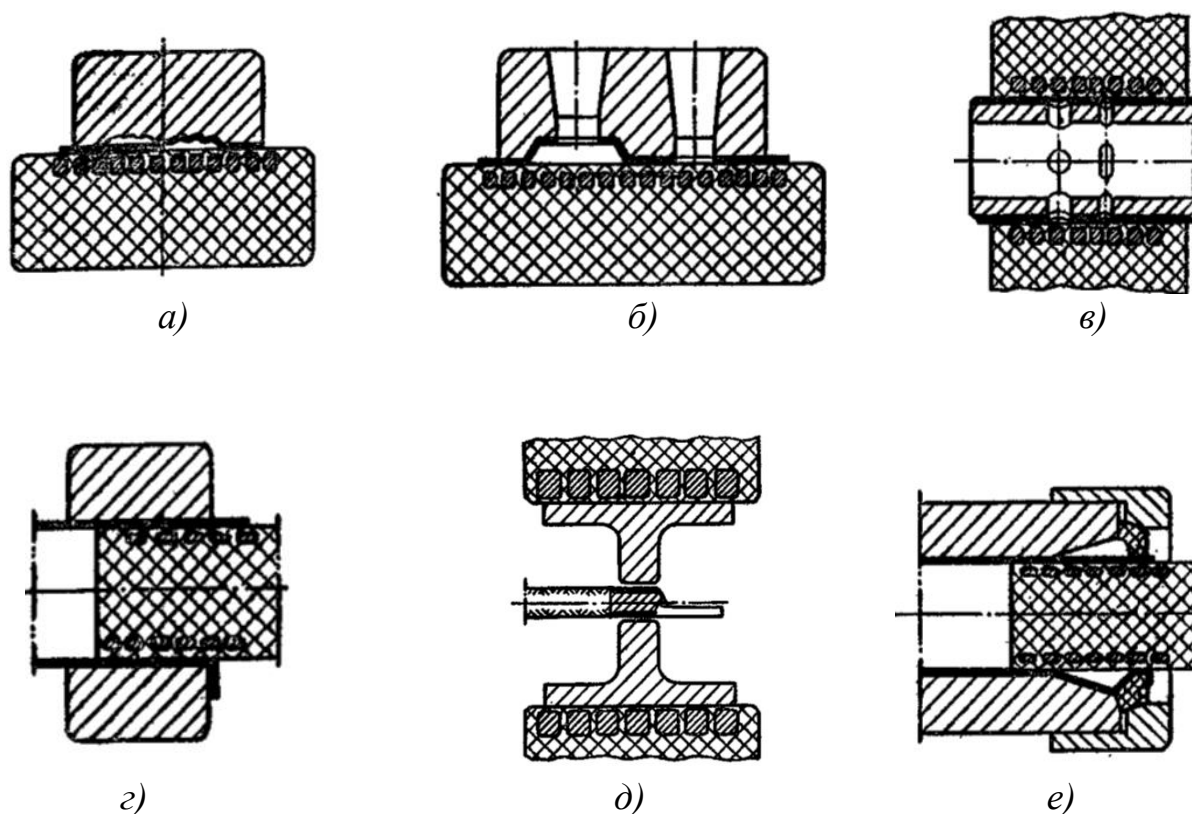
Рисунок 4.3 – Схеми формування фронтів ударної хвилі

### Питання для самоконтролю

1. Форма та розміри заготовок для електрогідравлічного штампування.
2. Методи перетворення електричної енергії на механічну. Переваги та недоліки.
3. Переваги ЕГШ при виготовленні деталей.
4. Яким чином досягається високий к.к.д. при ЕГШ?
5. Поясніть, як відбуваються зміни в металі під час коротких проміжків часу деформації.
6. Що відбувається з ударними хвилями під час електричного розряду?
7. Що є головним фактором, який визначає фронт ударної хвилі.
8. Що необхідно для полегшення управління формоутворенням?
9. Поясніть схему формоутворення фронтів ударної хвилі.
10. У чому полягає сутність методу ЕГШ.

### 4.3 Магнітно-імпульсне штампування

Магнітно-імпульсне штампування характерне тим, що тиск на металеву заготовку, що деформується, створюється безпосереднім впливом імпульсного магнітного поля, без участі проміжних твердих, рідких або газоподібних тіл. Це дозволяє штампувати деталі з полірованих і лакових заготовок без пошкодження поверхні, а також деформувати заготовки, укладені не в герметичну пластмасову оболонку (рис. 4.4) [14].



- а – формовка; б – пробивка і відбортівка; в – пробивка отворів;  
г – складання з розвальцюванням відбортівкою;  
д – обтиснення кабельних наконечників;  
е – роздача труби і складання з фланцем*

*Рисунок 4.4 – Різноманітність операцій, які виконуються магнітно-імпульсним штампуванням*

Магнітно-імпульсна обробка заснована на миттєвому розряді електроенергії, накопиченої в конденсаторній батареї, через відповідний індуктор, що є робочим органом. При цьому в ланцюзі індуктора протікає імпульс струму, а в навколишньоіндукторному просторі виникає імпульсне магнітне поле високої напруженості. Це магнітне поле індуктує вихрові струми, направлені до металевої заготовки, вміщеної у районі індуктора.

При взаємодії потужного поля індуктора з індукованим у заготовці струмом і його магнітним полем виникають електромеханічні (пондеромоторні) сили взаємодії, які прагнуть відштовхнути заготовку від індуктора і викликають її деформацію. Магнітний імпульс триває від 10 до 20 мкс, створюючи тиск від 3 500 до 39 000 кгс/см<sup>2</sup>. Так само, як і при штампуванні вибухом, тривалість магнітного імпульсу у багато разів менше часу деформації заготовки. Тому імпульсне магнітне поле безпосередньо діє на заготовку лише в початковий момент, після чого подальша деформація заготовки відбувається під дією отриманого нею запасу кінетичної енергії.

Рухома заготовка з високою швидкістю (300...400 м/с) ударяється об матрицю, в результаті чого виникають величезні сили зіткнення, що деформують заготовку. Імпульсне магнітне штампування отримало досить велике застосування в промисловості при виконанні різних операцій листового штампування: витяжки, вирубки, пробивки отворів, відбортовки, розвальцьовування труб, запресовування штуцерів, обтиску труб і наконечників на тросах, складання трубчастих деталей з оправками і т. п.

Вельми оригінальною операцією, що здійснюється магнітно-імпульсним штампуванням, є пресування різьб всередині металевих трубок і тонкостінних втулок щодо загвинчування болта або шпильки.

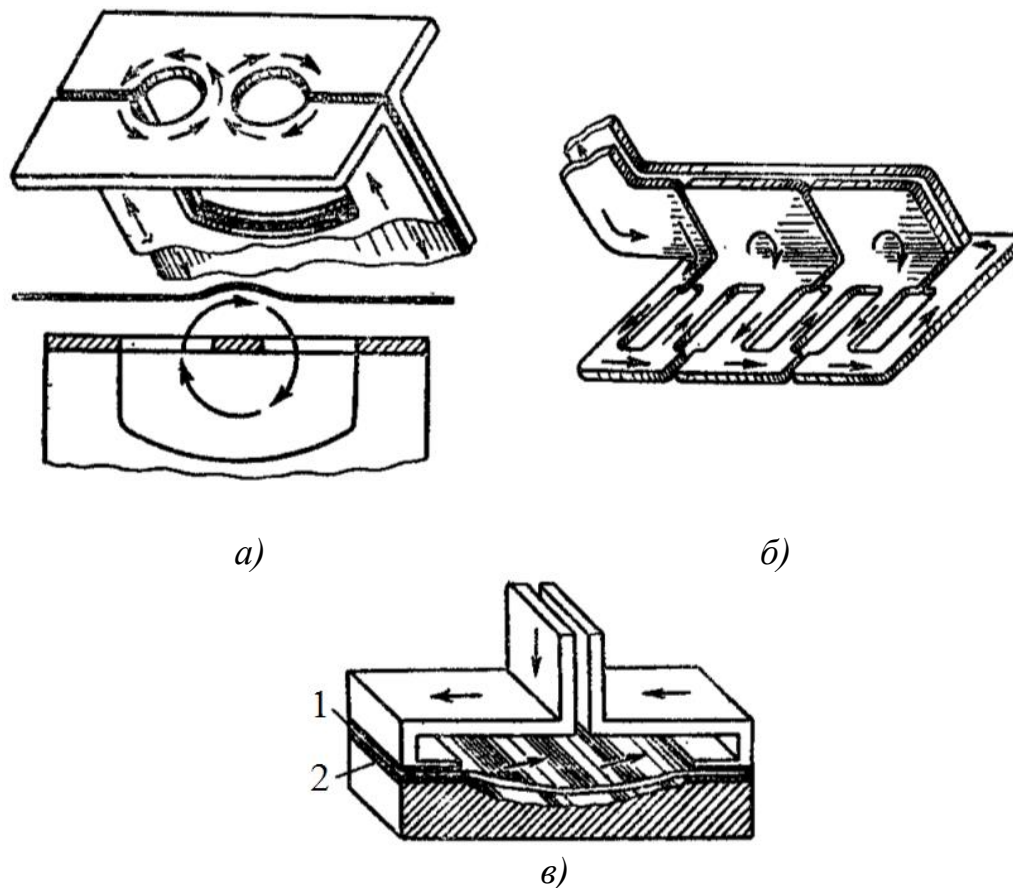
Магнітно-імпульсне штампування має ряд переваг перед іншими високоенергетичними методами: 1) можливість точного дозування потужності імпульсного розряду шляхом зміни ємності конденсатора (накопичувача); 2) підвищена точність штампованих деталей; 3) порівняно висока продуктивність процесу; 4) можливість автоматизації і вбудовування магнітно-імпульсних установок у виробничий процес; 5) можливість виконання складальних операцій; 6) можливість деформування заготовок за кілька розрядних імпульсів, причому перші імпульси служать для розігріву заготовки та підвищення її пластичності.

Основним робочим органом при магнітно-імпульсному штампуванні є індуктор. В умовах одиничного (дослідного) виробництва застосовують дотові індуктори одноразової дії, які руйнуються при проходженні імпульсу струму. В умовах серійного виробництва застосовують індуктори багаторазової дії (див. схеми на рисунку 4.4).

На рисунку 4.5 наведені деякі типи індукторів для штампування плоских заготовок: двовітковий індуктор, що створює найбільший тиск в середній частині (а); індуктор для гофрування (б); індуктор з пропущенням імпульсного струму через плоску заготовку (в). В останньому випадку основне магнітне поле індуктора взаємодіє з імпульсним струмом, що протікає через заготовку. Різкого збільшення робочого тиску можна досягти, застосовуючи так звані концентратори поля (див. рис. 4.4, д).

Індуктори багаторазової дії виготовляють з матеріалів високої електропровідності (мідь, берилієва бронза та ін.) і оберігають від замикання витків і контакту з заготовкою, а також від пошкоджень при розряді

ізоляцією з армованих склопластиків на основі епоксидних смол. Якщо індуктор нагрівається імпульсним струмом, то при великій частоті проходження імпульсів індуктор повинен мати систему охолодження.



а)

б)

в)

1 – заготовка; 2 – ізоляція;  
 а – двовитковий; б – для гофрування;  
 в – з пропусканням імпульсного струму через плоску заготовку  
 Рисунок 4.5 – Типи індукторів

### Питання для самоконтролю

1. Що називається магнітно-імпульсним штампуванням?
2. Суть методу магнітно-імпульсного штампування.
3. Які операції листового штампування можна здійснювати методами магнітно-імпульсного штампування?
4. Які переваги магнітно-імпульсного штампування перед високоенергетичними методами?
5. Які оригінальні операції можна здійснювати за рахунок магнітно-імпульсного штампування?
6. Які типи індукторів використовуються для штампування плоских заготовок?

#### 4.4 Ротаційне видавлювання (давильні і розкатні процеси)

У деяких випадках холодноштампувальні операції поєднуються з давильними або накатними операціями, які виконують на спеціальних верстатах при обертальному русі заготовки (деталі), а іноді і деформуючого інструменту [14].

До таких операцій відносяться:

- 1) давильні роботи, що виконуються на давильних верстатах;
- 2) давильно-розкочувальні процеси, що виконуються на розвальцювальних верстатах (ротаційне видавлювання);
- 3) відбортовочні, фланцеагинальні і кромкообрізні роботи, що виконуються на спеціальних вертикальних двошпindelних відбортовних верстатах або спеціальних автоматах.

Давильні роботи застосовуються в дрібносерійному виробництві, коли виготовлення витяжних штамів економічно не вигідне і тривале, а також при виготовленні пустотілих деталей опукло-увігнутою конфігурації і т. п.

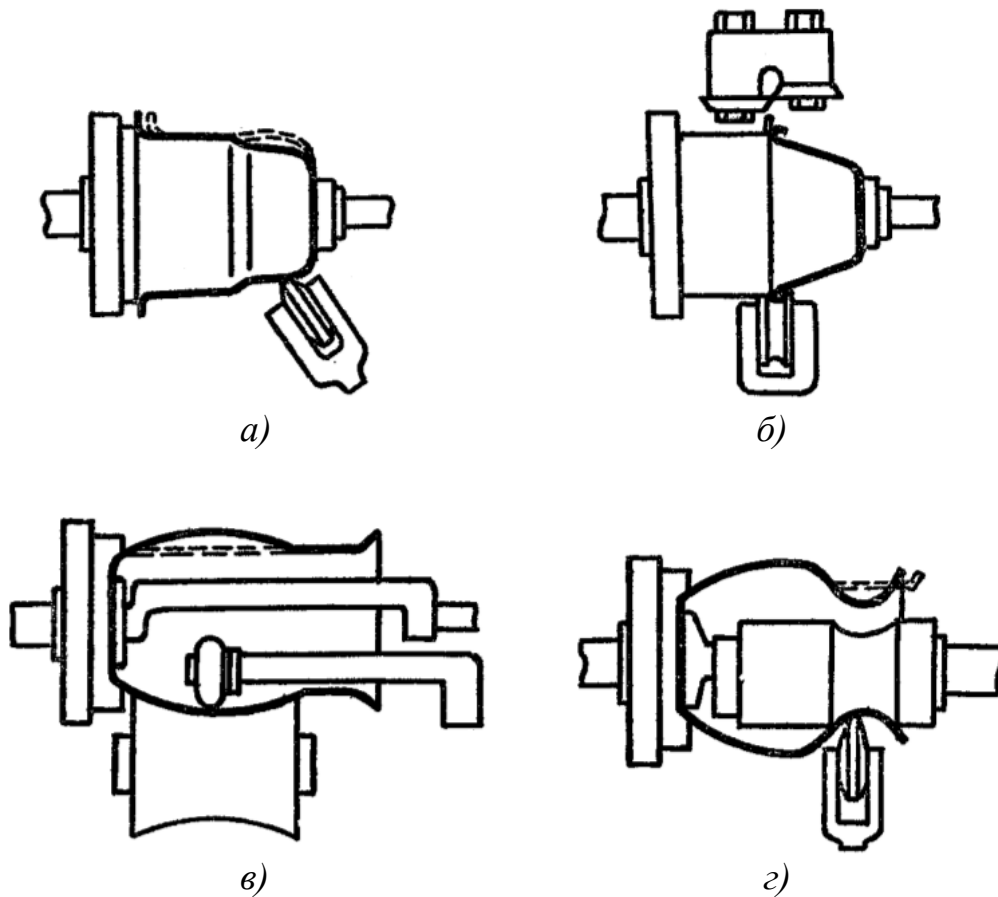
На давильних верстатах виконують такі операції: видавлювання порожнистих деталей, які є тілами обертання; випресовування поверхонь деталей після ступінчастої витяжки конічних деталей; видавлювання вузьких горловин на циліндричних заготовках, обрізка і завивка кромки і т. д.

Поверхня видавлених деталей зазвичай носить сліди давильника і відповідає 6-7-му класам шорсткості поверхні. Для отримання більш гладкої поверхні після закінчення видавлювання особливим давильником виробляють проглажування зовнішньої поверхні або шабером знімають тонку стружку (0,0...0,05 мм). Точність видавлених деталей зазвичай знаходиться в межах 0,001...0,002 їх діаметра.

Процес видавлювання на давильних верстатах складніший і менш вивчений, ніж інші процеси обробки металів тиском. При видавлюванні неглибоких деталей процес видавлювання може бути виконаний безперервним поворотом давильника і рухом його кінця від притиску вздовж твирного патрона (оправки).

При виготовленні глибоких деталей видавлювання проводиться зворотньо-поступальним рухом давильника на окремих ділянках заготовки. Для запобігання утворення складок з протилежної (внутрішньої) сторони заготовки вводять дерев'яний чи металевий протидійний упор або виконують розгладження конічного фланця двома давильниками, поміщеними з обох сторін заготовки.

При видавлюванні на давильних верстатах метал деталі значно сильніше стоншується і наклепується, ніж при витяжці на пресах, тому деталі, що видавлюються за кілька операцій, зазвичай піддають проміжному відпалу. На рисунку 4.6 наведені різні типи давильних робіт.



*а – видавлювання по патрону дисковим роликом;  
 б – обрізка фланця і закачування кромки;  
 в – опукле видавлювання по зовнішньому ролику;  
 г – увігнуте видавлювання горловини*  
 Рисунок 4.6 – Різновиди давильних робіт

Ротаційне видавлювання (розкочування) виконується на спеціальних гуркотних верстатах з гідравлічним переміщенням роликів вздовж твірної. Для розкочування невеликих деталей застосовуються верстати з горизонтальним, а для великих деталей – з вертикальним шпинделем. Спосіб розкочування застосовується також для виготовлення тонкостінних холоднокатаних труб.

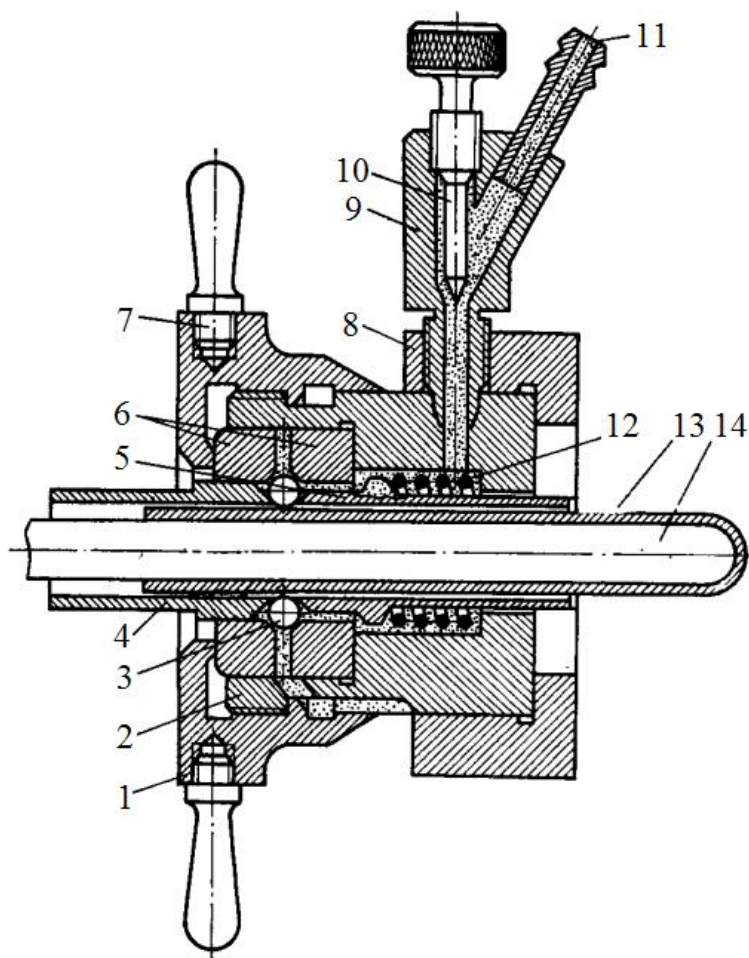
У процесі розкочування конічних, параболічних та інших деталей ролик переміщається до основи деталі, а радіус кола безперервно зростає, отже, збільшується і дуга контакту з роликом. Унаслідок цього при русі ролика від центра до кола заготовки сила розкочування збільшується.

Способом розкочування виготовляють різні голівки, ковпаки, обтічники та інші деталі газових турбін реактивних літаків, ракет і т. п. з дуралюміна, нержавіючої сталі і жароміцних сплавів.

Витискування розкочуванням роликами дозволило спростити технологію виготовлення великих деталей зазначеної форми і отримати велику економію дорогих нержавіючих і жароміцних сплавів.

Спосіб розкочування отримав застосування також для виготовлення дуже тонкостінних деталей малого діаметра (2...3 мм) з нержавіючої сталі 08X18H10, а також із молібденових сплавів ЦМ-2А.

Сутність процесу розкочування кульками полягає в такому (рис. 4.7).

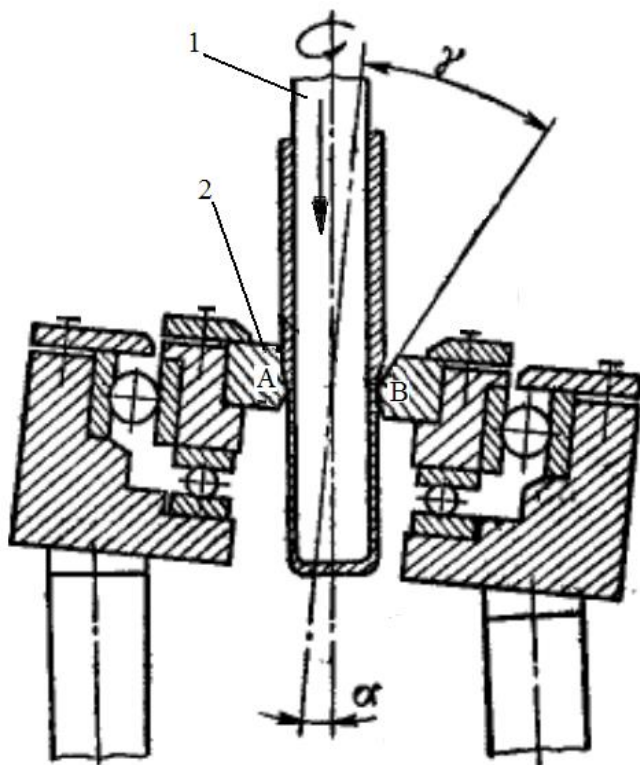


*Рисунок 4.7 – Розкочувальна кулькова голівка для розкочування тонкостінних деталей малого діаметра*

Вихідна заготовка з мінімальним зазором надівається на загартовану оправку (пуансон), яка закріплюється в конусі шпинделя токарного верстака. У регульованій кульковій голівці, встановленій в різцетримачі супорта або у втулці задньої бабки, робочі кульки 3 (матриця) обертаються колом між заготовкою та опорними конусами 6 при обертанні заготовки разом з оправленням. Зближення або видалення опорних кілець з конусами 6 один від одного поворотом штурвала 1 (або мікрометричної гайки) призводить до переміщення кульок до або від центра і зміни внутрішнього діаметра кулькової матриці, а, отже, до зміни зовнішнього діаметра порожнистої заготовки, яка розгортається. На рисунку 9.2 також показані деталі голівки: 2 – корпус; 4, 5 – сепараторна втулка; 7 – ручка, 8 – тримач; 9 – штуцер; 10 – голка; 11 – ніпель; 12 – пружини; 13 – заготовка, яка розкочується; 14 – оправка. Розкочування проводиться за кілька проходів (обтисків)

до отримання стінки завтовшки  $0,1 \pm 0,01$  мм (при діаметрі деталі до 2...3 мм). Глибина обтиску за один прохід становить 0,08 мм. Величина осьової подачі токарного верстата становить 0,02 мм/об при  $n = 1\ 800$  об/хв.

Сутність другого способу стоншування стінок полягає у створенні особливого взаємного руху (пуансона 1) і матриці 2, яка його охоплює (рис. 4.8).



*Рисунок 4.8 – Спосіб стоншування трубчастих деталей на похилій матриці, що розкочується*

Вісь пуансона утворює деякий кут  $\alpha$  з віссю обертання матриці. Обертальний рух надається або пуансону, або матриці. Крім того, пуансон здійснює поступальний рух у напрямку своєї осі. Вогнища деформації тут сконцентровані в зонах точок *A* і *B*. Взаємний рух робочої пари забезпечує переміщення їх по гвинтовій лінії, причому крок ліній залежить від подачі. Зі збільшенням подачі вогнища деформації збільшуються в тангенціальному напрямку, і настає такий момент, коли вони з'єднуються, утворюючи єдине кільцеве вогнище, як при витяжці в штампі. Таким чином, через те, що матриця нахилена під кутом  $\alpha$  до осі пуансона, то вона буде здійснювати коливальний рух уздовж осі, а пуансон із заготовкою при цьому буде поступово пересуватися вперед (проходити в отвір матриці), у результаті чого і відбувається стоншення заготовки.

Форма оправки (пуансона) і відповідні їй отвори в даному випадку значення не мають. Цим способом можна отримати деталі і з іншою формою.

Застосовується також і двоярусна коливальна матриця. Найменша товщина заготовки, яка розгортається, сягає 0,03...0,05 мм. Кут нахилу стінки матриці до її осі  $\gamma = 12...5$ , а кут  $\alpha = 2...4$ . Шорсткість поверхні деталі 0,80...0,40. Як устаткування застосовуються токарні та вертикально-свердлильні верстати (до 3 000 об/хв).

### Питання для самоконтролю

1. Назвіть операції, що поєднуються з холодноштампувальними.
2. Які переваги використання давильних робіт?
3. У якому виробництві доцільно застосовувати давильні роботи?
4. Які операції виконують на давильних верстатах?
5. Назвіть відомі вам види давильних робіт?
6. Назвіть особливості ротаційного видавлювання конічних, параболічних та інших типів пустотілих деталей.
7. Які переваги використання розкочування роликками?
8. Опишіть конструкцію розкатної кулькової голівки.
9. Які типи деталей можна отримати операцією розкочування?
10. Які матеріали використовуються при процесі розкочування?
11. Опишіть сутність процесу розкочування кульками.
12. У чому полягає особливість розкочування, при якому отримують стоншення стінок деталі?

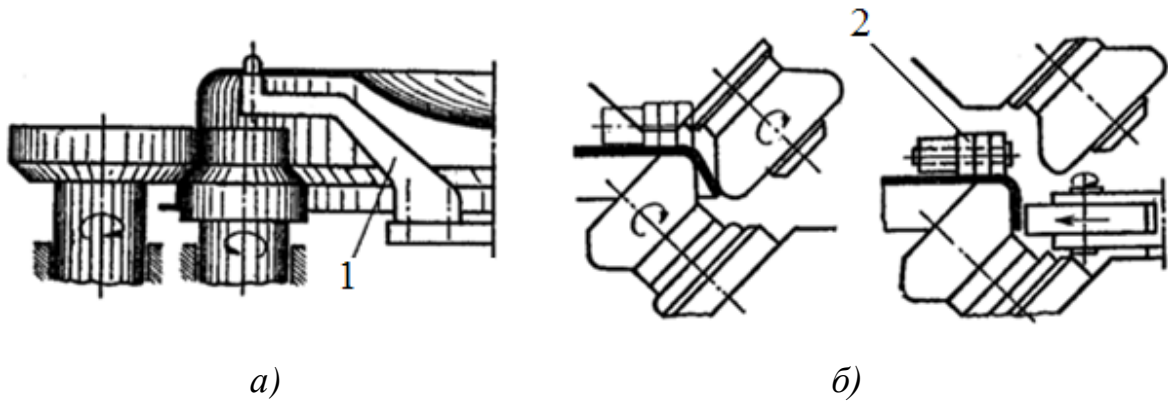
## 4.5 Накатні і кромкозагинальні операції

До цієї групи належать такі види робіт [14]:

- 1) накатні, кромкозагинальні і завивочні операції, що виконуються на накатних верстатах горизонтального типу (зігмашини);
- 2) обрізні операції, що виконуються на спеціальних обрізних верстатах;
- 3) накатування різи на порожніх виробках, яка виконується на спеціальних різенакатних верстатах у ряді випадків в одній потоковій лінії зі штампувальними автоматами;
- 4) накатні роботи (з'єднання подвійним швом), що виконуються на спеціальних накатних верстатах і автоматах.

На рисунку (4.9, а) зображений спосіб гнуття борту на відбортовочному вертикальному двошпindelному верстаті, на рисунку (4.9, б) – гнуття борту великої деталі на спеціальній роликовій машині з похилими роликками.

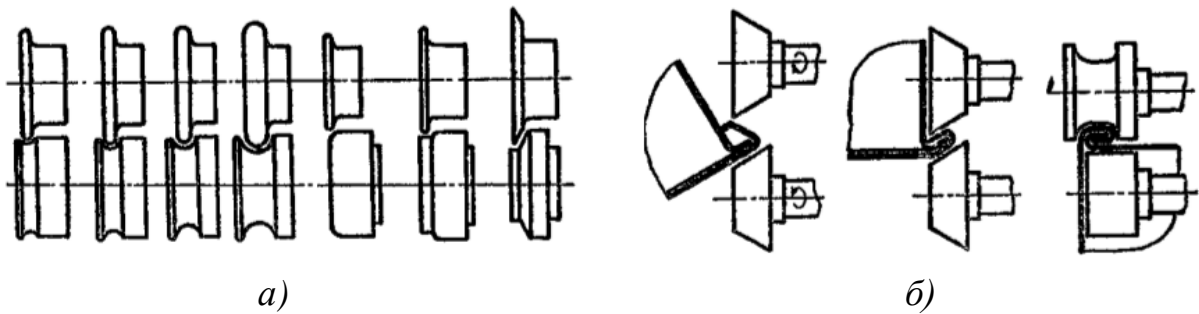
Накатні і кромкозагинальні верстати (зігмашини) застосовуються, головним чином, у жестиному виробництві для накочування різних буртиків, уступів, гнуття крайок і т. п.



*1 – провідний палець; 2 – притискний ролик  
а – на відбортівочному верстаті; б – на роликовій машині*

*Рисунок 4.9 – Процес відгинув борту*

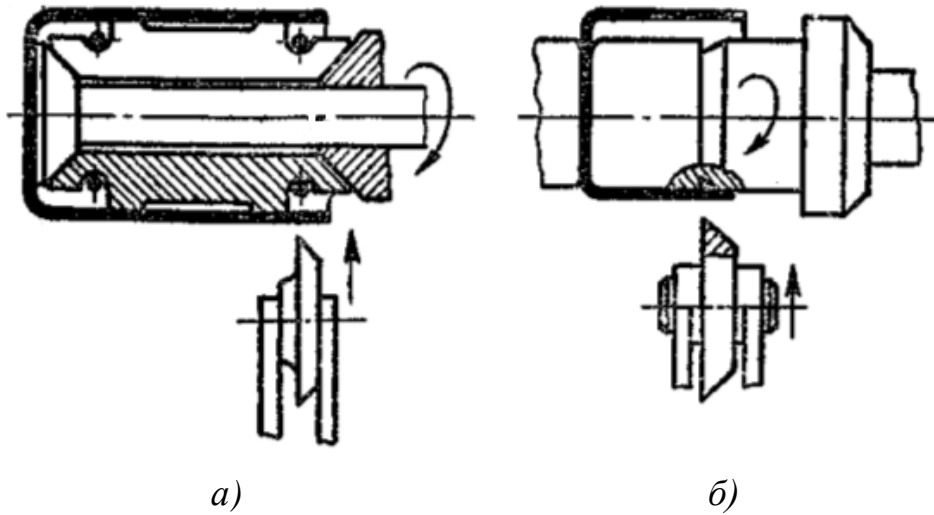
На рисунку (4.10, а) наведений комплект роликів для накатного верстата, а на рисунку (4.10, б) – спосіб накочування подвійного шва на простих накатних верстатах.



*а – для накатного верстата; б – для накочування з'єднувальних швів  
Рисунок 4.10 – Комплект роликів для накатного верстата*

На рисунку 4.11 показані способи обрізання нерівного краю витягнутих циліндричних деталей на накатних і спеціальних обрізних верстатах: на рисунку (4.11, а) – з закріпленням розтискним оправленням, на рисунку (4.11, б) – з торцевим притиском обрізання деталі.

Накатування (видавлювання) різі на пустотілих виробках отримала широке розповсюдження як метод з'єднання листових штампованих деталей в різних штампованих конструкціях. Зараз накатування різі на пустотілих виробках застосовується, в основному, в електротехнічній промисловості – для накатування так званого електротехнічного різьблення і у виробництві предметів широкого вжитку (резервуарів, кришок, банок і т. п.) – для накатування дрібного з'єднального різьблення.

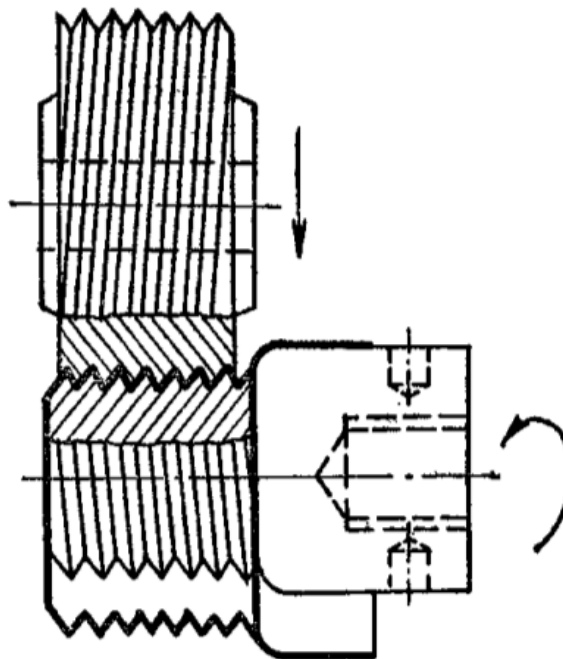


*Рисунок 4.11 – Обрізання краю на накатних верстатах*

Перший тип накатування застосовується для діаметрів 10; 14; 27; 33 і 40 мм і має великий крок різі: 1,8; 2,8; 3,6; 4,2 і 6,3 мм. Другий тип накатування застосовується для виробів, діаметром до 100 мм з тонкого листового металу (0,24...0,35 мм) і має невеликий крок різі (від 1 до 1,5 мм).

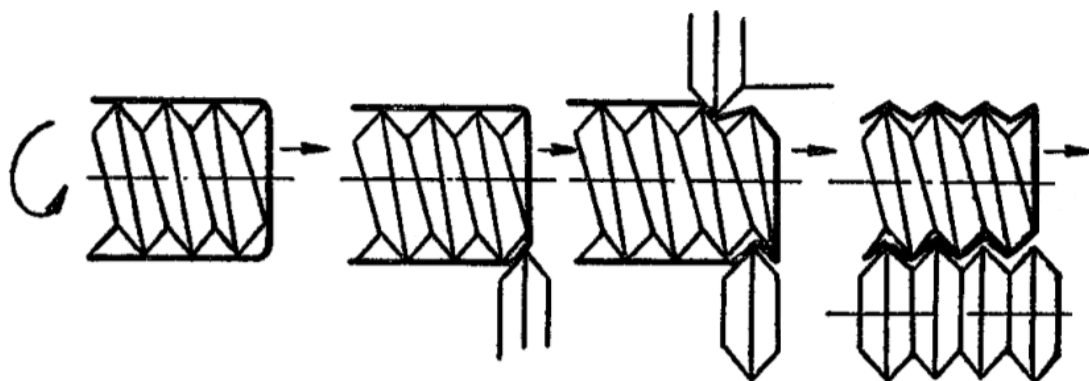
Існують три способи накатування (витискування) різі на порожніх виробах:

1) накатування за допомогою патрона і ролика відразу за всією довжиною різьблення (рис. 4.12);



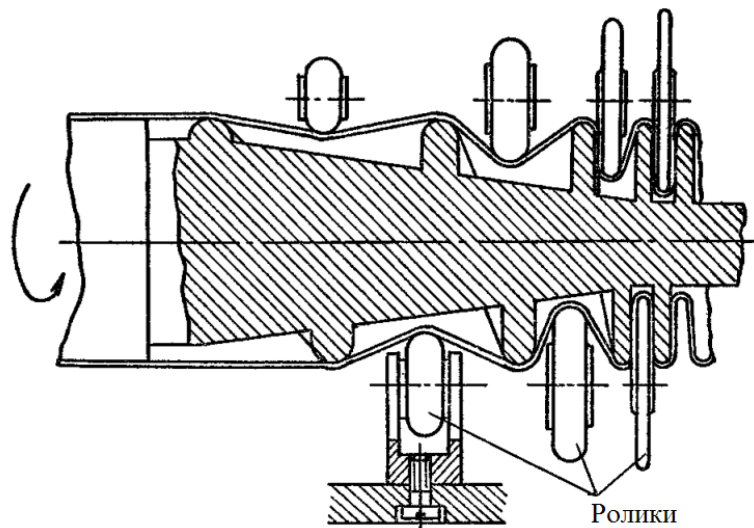
*Рисунок 4.12 – Накатування за допомогою патрона і ролика*

2) накатування за допомогою мітчика і накатних роликів (рис. 4.13);



*Рисунок 4.13 – Накатування за допомогою мітчика і накатних роликів*

3) накатування гофрованих труб за допомогою шнека і патрона зі змінним кроком гвинтової лінії (рис. 4.14).



*Рисунок 4.14 – Накатування гофрованих труб за допомогою шнека і патрона роликami*

Перший спосіб призводить до сильного стоншення матеріалу, а тому застосовується тільки для накатування дрібної різі. Діаметр ролика може бути в два, три або чотири рази більше діаметра патрона, внаслідок чого частота обертання ролика повинна бути у стільки ж разів менше, а різьблення на ролику робиться дво-, три- або чотиризахідним, для того, щоб кути нахилу гвинтової лінії залишилися однаковими. Для полегшення зняття деталі патрон робиться меншого діаметра.

При другому способі мітчик з одягнутою на нього заготовкою має два рухи: обертальний і поступовий. Накочування здійснюється поступово за допомогою вдавнення двох накатних роликів (рис. 4.13). Зняття

деталі відбувається шляхом зміни обертання мітчика з прямого на зворотний хід і гальмування (звинчення) деталі.

За третім способом накатування відбувається при однаковій частоті обертання шнека і патрона по роликах, які обертаються в одну сторону. Заготовка при цьому не обертається, а має поступальний рух (на рисунку 4.14 – зліва направо). Заготовка повинна бути накатана повністю, інакше її не можна зняти зі шнека.

Закатування з'єднувальних швів застосовується головним чином в жестяничному виробництві та консервній промисловості для з'єднання подвійним швом («у замок») донець і кришок з бічними стінками судин, коробок і банок круглої, прямокутної і овальної форм.

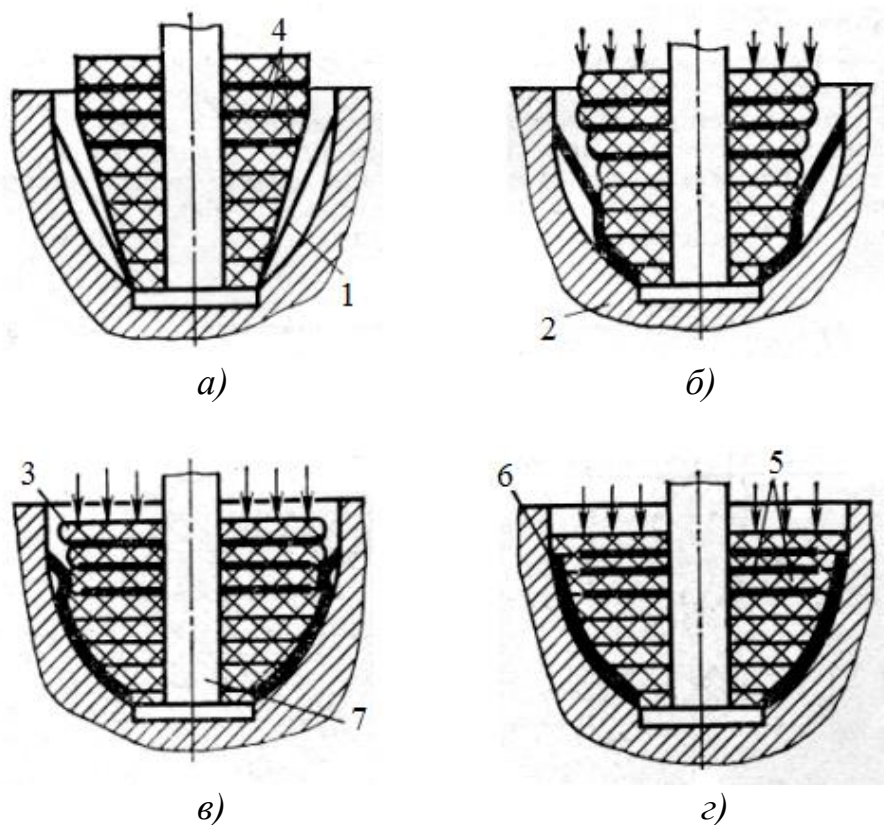
### **Питання для самоконтролю**

- 1 Які види робіт можна віднести до групи накатних і кромкозгинальних операцій?
- 2 У якому виробництві застосовуються накатні і кромкозгинальні операції?
- 3 Які існують способи накатування різи?
- 4 Яку номенклатуру виробів можна отримати накатуванням різи?
- 5 Опишіть особливості кожного зі способів накатування різи на пустотілі заготовки.

## **4.6 Штампування вісесиметричних деталей еластичним інструментом змінної жорсткості**

Серед деталей, що штамнуються еластичним середовищем, велике місце займають вісесиметричні оболонки конусоподібної і циліндричної форм [14, 15]. Характерною особливістю при формоутворенні таких оболонок є наявність осьової сили, що викликає значні стискаючі напруження вздовж твірної стінки заготовки. Під дією цих напружень стінка оболонки при певних співвідношеннях геометричних та механічних параметрів заготовки починає втрачати стійкість, що призводить до дефектів виробу за рахунок поперечних складок (хвиль) в стінці деталі. Щоб виключити втрату стійкості циліндричної або конічної заготовки, рекомендується застосовувати змащення, що знижує тертя між пуансоном і заготовкою, і використовувати спеціальний притиск для защемлення верхнього краю заготовки. У ряді випадків для цього роблять попередню розбортівку заготовки або приварюють спеціальні технологічні фланці. При цьому потрібна додаткова витрата металу, збільшується трудомісткість і, крім того, спостерігається велике стоншення стінки деталі. Але іноді навіть всі ці прийоми не забезпечують отримання якісних деталей.

На рисунку 4.15 наведена схема процесу штампування зрізаної півсфери з конічної заготовки еластичним пуансоном.



1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – еластичний пуансон;  
 4 – жорсткі прокладки; 5 – еластичні шайби;  
 6 – деталь; 7 – стрижень пуансона;  
 а – вихідне положення; б – початок деформування;  
 в – завершення деформування; г – кінцеве положення  
 Рисунок 4.15 – Схема процесу штампування пуансоном  
 змінної жорсткості

Сутність способу полягає в тому, що заготовка деформується локальним тиском еластичного середовища спочатку на невеликій ділянці (рис. 4.15, б) з подальшим послідовним поширенням зони навантаження заготовки та осередку деформування уздовж осі заготовки (рис. 4.15, в) до повного оформлення деталі по контуру матриці (рис. 4.15, г). Така схема процесу здійснюється за один хід преса пуансоном, що складається з кільцевих еластичних елементів із змінною жорсткістю на стиск. При цьому у верхній частині пуансона повинні розташовуватися еластичні кільця з більшою жорсткістю, а розміри пуансона у вихідному положенні (рис. 4.15, а) повинні забезпечувати заздалегідь розрахований догори зазор, що наростає, між заготовкою і пуансоном. У процесі формування деталі таким пуансоном у кожен даний момент часу деформується невелика ділянка заготовки з розмірами, що не допускають втрати стійкості. Частина

заготовки, що лежить нижче цієї ділянки, є вже відформованою і притисненою еластичним середовищем до матриці, а верхня частина ще не контактує з пуансоном.

Варійованими параметрами пуансона, що забезпечує таку схему процесу, є геометричні розміри еластичних елементів, твердість і марка еластомеру, величина зазору між пуансоном і заготовкою. Вплив зазору між пуансоном і заготовкою видно на рисунку 4.15. Інші варійовані параметри впливають на характеристики стиснення елементів еластичного пуансона і через них – на процес деформування заготовки.

### **Питання для самоконтролю**

1 Номенклатура деталей, що отримують методом штампування еластичним інструментом.

2 Характерні особливості процесу штампування пуансоном змінної жорсткості.

3 Рекомендації щодо покращення проведення процесу.

4 Недоліки та переваги процесу.

5 Сутність способу штампування пуансоном змінної жорсткості.

6 Параметри процесу, якими можна варіювати.

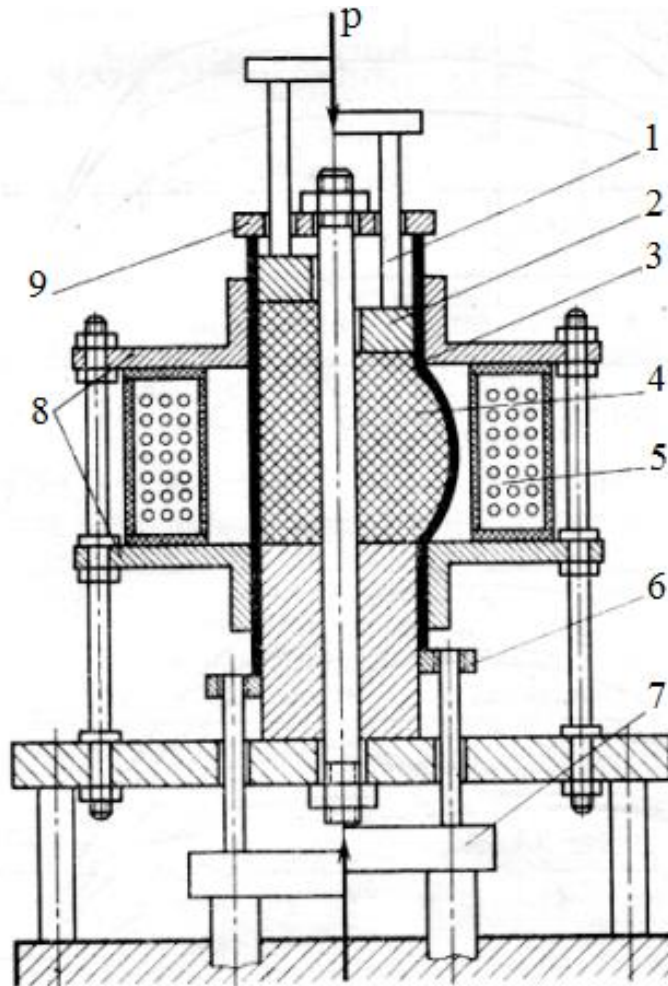
### **4.7 Роздача трубчастих заготовок гумою з осьовим підпором**

Процес роздачі трубчастих заготовок гумовим пуансоном, поряд з роздачею рідиною, штампуванням електромагнітним полем і т. п., знайшов досить широке застосування три виробництва сільфонів, корпусних деталей, елементів жорсткості і т. д. Необхідна для деформування сила прикладається, в даному випадку, до внутрішньої поверхні заготовки, а найбільш деформованими виявляються зазвичай зони, віддалені від торців [14, 16].

Роздача заготовок здійснювалася в спеціальному пристосуванні (рис. 4.16), встановленому на гідравлічному пресі, силою 30 тс, з діапазоном швидкостей деформування 0...15 см/хв .

Прес забезпечений силовимірювальним пристроєм та пристроєм для запису діаграм сила-хід. Підпір створювався за допомогою пневмоциліндра силою до 10 тс. У якості середовища, що створює силу для деформування, використана гума марки 3824. Процес роздачі з нагріванням заготовок у вогнищі деформацій проводився з використанням термостійкого герметика У2-28. Нагрівалися заготовки в електропечі 5. Замір температур проводився за допомогою хромель-алюмелевих термопар.

Сила від преса передавалася через штовхач 1 і шайбу 2 на гумовий пуансон 4, за допомогою якого відбувалося деформування заготовки. Сила підпору надходила від пневмоциліндра 7 до нижньої крайки заготовки 3 за допомогою рухомого кільця 6. Осьовим переміщенням заготовки перешкоджав упор 9. Виймка деформованої заготовки проводилася після зняття верхньої плити пристосування 8 і упору 9.



1 – штовхач; 2 – шайба; 3 – заготовка;  
 4 – гумовий пуансон; 5 – піч опору;  
 6 – рухоме кільце; 7 – плита пневмоциліндра;  
 6 – верхня і нижня плити пристосування; 7 – упор  
 Рисунок 4.16 – Схема роздачі трубчастих заготовок гумовим пуансоном

### Питання для самоконтролю

- 1 Які види деталей можна отримувати за допомогою даного способу?
- 2 Особливості роздачі трубчастих заготовок гумою з осьовим підпором.
- 3 Опишіть пристрій, наведений на рисунку 4.16.
- 4 Які величини силових параметрів забезпечують вірне протікання процесу?
- 5 Який матеріал використовується для деформування трубчастих заготовок?
- 6 Назвіть основні його особливості.

#### 4.8 Про можливість впровадження листової витяжки за допомогою скрапленого газу

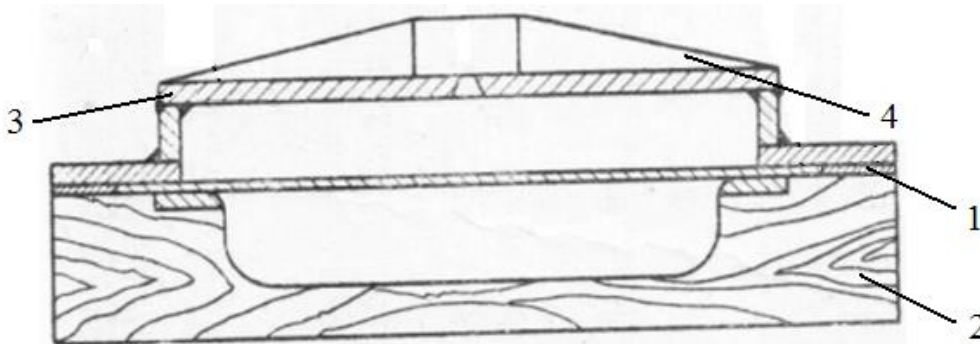
Виготовлення великих деталей з листових заготовок штампуванням-витяжкою або обтягуванням вимагає застосування потужних пресів з великими розмірами столу, а також складного оснащення. Це викликає великі витрати коштів і часу на підготовку виробництва, що особливо економічно не вигідно в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Відповідно до цього найбільш рентабельними будуть такі методи виготовлення великих деталей, які виключають застосування пресів і при яких застосовується просте оснащення. Одним з таких методів є штампування газовим пуансоном [14, 15].

Новий спосіб штампування-витяжки та обтягування полягає в тому, що для створення робочих тисків, необхідних для виготовлення деталей з листових заготовок, використовується скраплений газ.

Необхідний тиск досягається завдяки швидкому переходу азоту з рідкого стану в газоподібний.

Більшість зріджених газів при переході з рідкого стану в газоподібний збільшують свій об'єм. Наприклад, з 1 л рідкого азоту виходить 690 л газоподібного азоту. Перехід азоту з рідкого стану в газоподібний відбувається при кімнатній температурі практично миттєво. Схема даного процесу полягає в такому (рис. 4.17).



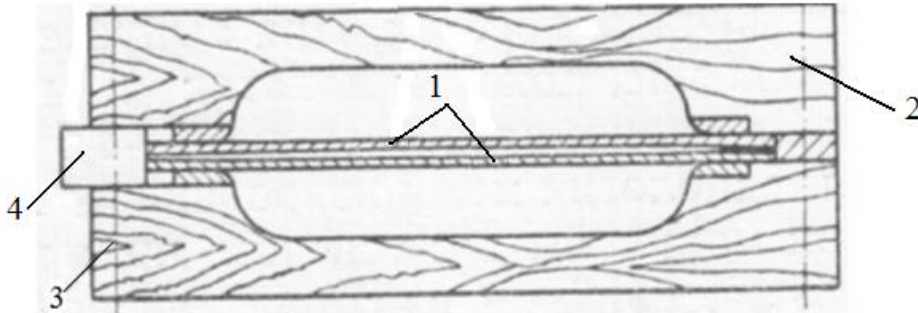
1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – камера тиску;  
4 – пристрій для подачі і дозування скрапленого газу  
Рисунок 4.17 – Схема штампа для витяжки за допомогою скрапленого газу

Заготовка 1 укладена на матрицю 2, виготовлену з легкооброблюваного і недорогого матеріалу (цементу, гіпсу, дерева тощо), накривається металевою камерою тиску 3, на якій розташований пристрій 4 для подачі, дозування і розпилювання скрапленого газу.

Після того, як заготовка накрита камерою тиску, остання з'єднується з матрицею за допомогою швидкодіючих замків і в неї подається певна

кількість зрідженого газу, який при переході в газоподібний стан образно створює тиск, необхідний для деформування заготовки. Після закінчення деформування тиск у камері знімається і камера від'єднується від матриці.

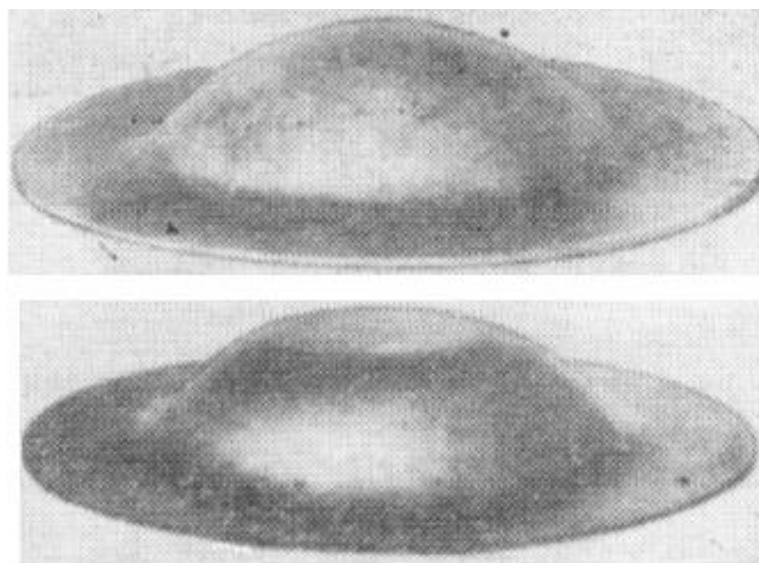
Цей метод можна використовувати також для виготовлення одночасно двох деталей із заготовок, зварених по краю і укладених між двома матрицями (рис. 4.18). Зріджений газ у цьому випадку подається в простір між заготовками. Тиск газу в штампі буде залежати від кількості скрапленого газу, введенного в камеру.



*1 – заготовки, які зварені по краю; 2 – верхня матриця;  
3 – нижня матриця; 4 – пристрій для подачі і дозування скрапленого газу*

*Рисунок 4.18 – Схема штампів для витяжки одночасно двох деталей за допомогою скрапленого газу*

Експерименти з витяжки цим методом листових матеріалів (АМцМ, Л62 та ін) різної товщини (рис. 4.19) дозволили встановити, що ущільнення між камерою тиску і заготовкою не має великого значення. Це пояснюється тим, що витікання газу через зазори між камерою і заготовкою незначне внаслідок дуже швидкого перетворення скрапленого газу на газоподібний стан, а отже, і швидкого наростання тиску.



*Рисунок 4.19 – Зразки, відштамповані за допомогою скрапленого газу*

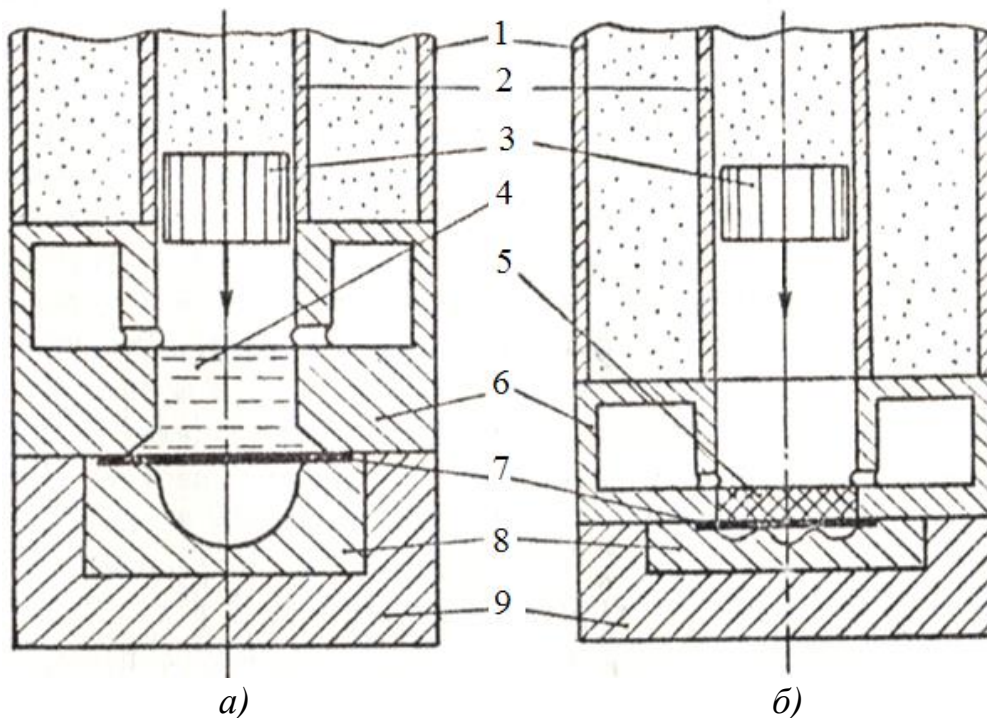
Застосування цього методу в промисловості надасть змоги скоротити витрати на виготовлення великих деталей з листового матеріалу, тому що оснащення та обладнання можуть бути виключно простими і дешевими.

### Питання для самоконтролю

- 1 Чим викликана необхідність штампування газовим пуансоном?
- 2 У чому полягає спосіб штампування-витяжки?
- 3 Схема процесу витяжки за допомогою скрапленого газу.
- 4 Переваги цього методу.

### 4.9 Ударне штампування рідинами та еластичними середовищами

Новий етап у розвитку гідроударного методу штампування – метод ударного штампування листових матеріалів рідким і еластичним середовищем. Розробкою цього методу і устаткування займається Білоруський політехнічний інститут. Принципові схеми ударного листового штампування рідким і еластичним середовищем показані на рисунку 4.20 [14, 15].



- 1 – ресивер; 2 – стовбур; 3 – бойок;  
4 – рідинне передавальне середовище; 5 – еластичне середовище;  
6 – робоча камера; 7 – заготовка; 8 – матриця; 9 – контейнер  
а – рідким середовищем; б – еластичним середовищем*

*Рисунок 4.20 – Схема ударного штампування*

Накопичений у реверсі 1 стиснений газ, розширюючись, розганяє по стволу 2 бойок 3. Розігнаний до високої швидкості (20...150 м/с) бойок вдаряє по рідині 4 або еластичному середовищі 5, які знаходяться в робочій камері 6, створюючи в ній імпульс тиску, який деформує заготовку 7 по матриці 8. Енергія удару регулюється зміною тиску газу в ресивері.

Цей метод має низку переваг у порівнянні з традиційним штампуванням та іншими імпульсними методами; створено досить просте обладнання для ударного листового штампування, яке вигідно відрізняється від аналогічних імпульсних машин. До найбільш істотних переваг методу ударного листового штампування, в порівнянні з традиційною технологією, відносяться:

- 1) значне спрощення і здешевлення штампового оснащення;
- 2) можливість штампування в одній матриці деталей різної товщини;
- 3) скорочення термінів підготовки виробництва;
- 4) точність дозування енергії удару;
- 5) створення високих тисків, що дозволяють ефективно обробляти матеріали, які важко деформуються;
- б) висока рівномірність доданого навантаження і легке управління імпульсом тиску, що впливає на заготовку як за амплітудою, так і за тривалістю;
- 7) висока точність і якість поверхні відштампованих виробів;
- 8) отримання деталей складних форм, які неможливо виконати традиційними методами;
- 9) немає необхідності в ущільненнях при штампуванні рідким середовищем.

У свою чергу, створене для здійснення методу обладнання має такі переваги в порівнянні з іншими імпульсними машинами:

- 1) відсутність засобів підвищеної небезпеки (високої напруги, порохів);
- 2) високий к.к.д. устаткування, простота, надійність і зручність в експлуатації;
- 3) відносно невелика маса і мала займана виробнича площа.

Вартість такої оснастки в 3...5 разів нижче вартості штампів, а при штампуванні складність непрофільних виробів і особливо при роздачі порожніх виробів вартість оснащення може знижуватися в десятки разів. Спрощення оснащення, у свою чергу, призводить до скорочення термінів проектування і зниження трудовитрат на його виготовлення, тобто до помітного скорочення термінів підготовки виробництва, що іноді грає вирішальну роль. Використання рідини або еластичного середовища в якості пуансона дозволяє також штампувати в одній матриці деталі з листів різної товщини, так як такий пуансон автоматично «підлаштовується» до зміни товщини матеріалу.

Одна з найбільш важливих характеристик імпульсного обладнання – енергія удару. У багатьох випадках саме енергетичні можливості обладнання лімітують область його технологічного використання. Цей показник один з основних при розробці технологічних процесів імпульсного

штампування, причому ряд технологічних процесів висуває підвищені вимоги до точності дозування енергії, які помітно зростають при механізації та повній автоматизації процесу штампування.

### **Питання для самоконтролю**

1. Опишіть особливості ударного штампування.
2. Які переваги ударного штампування листового матеріалу, дайте розгорнуту відповідь?
3. Які деталі можна отримати подібним способом?
4. Якою характеристикою можна описати ударне штампування?

## ЛИТЕРАТУРА

1 **Евстратов, В. А.** Теория обработки металлов давлением: учебник / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа, 1981. – 247 с.

2 **Шестаков, Н. А.** Технология ротационнойковки и вальцовки: уч. пособие / Н. А. Шестаков, А. А. Шевченко. – М. : Высш. шк. 1988.– 166 с.

3 **Богоявленский, К. Н.** Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок / Богоявленский К. Н., Селин М. Т., Лапин В. В. – М. : НИИМаш, 1981. – 82 с.

4 **Дейнеко, В. Г.** Новые способы непрерывного накатывания резьб и других профилей / В. Г. Дейнеко. – М. : Машгиз 1961. – 160 с.

5 **Девятов, В. В.** Малоотходная технология обработки материалов давлением / В. В. Девятов. – М. : Машиностроение, 1986. – 288 с.

6. **Мансуров, А. М.** Технология горячей штамповки: учебное пособие для вузов / А. М. Мансуров. – М. : Машиностроение, 1971. – 415 с.

7 Фасонирование заготовок лопаток на ковочных вальцах / [Смирнов В. К., Кошаев Ш. Д., Харитонин С. В., Жилкин А. А.]. – М. : Военное издательство, 1982. – 260 с.

8 **Раковский, В. С.** Порошковая металлургия в машиностроении. / В. С. Раковский, В. В. Каслинский. – М. : Машиностроение, 1973.– 126 с.

9 Холодная объемная штамповка: Справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – 496 с.

10 Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. – 2003.– 87 с.

11 **Ким, В. С.** Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М. : Химия, 2005.– 568 с.

12 **Колпашников А.И.** Гидропрессование металлов / А. И. Колпашников, В. А. Вялов. – М. : Металлургия, 1973. – 296 с.

13 Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. / [под ред. Е.И. Семенова и др.]. – М. : Машиностроение. – Т. 2. – 1986. – 591 с.

14 **Романовский, В. П.** Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.

15 **Богоявленский К.Н.** Штамповка полых деталей эластичными средами и жидкостью / К.Н. Богоявленский // Изготовление деталей пластическим деформированием: Сб. научных трудов. – Л. : Машиностроение, 1975. – С. 332–354.

16 **Глазков В. И.** Раздача трубчатых заготовок резиной с осевым подпором / В. И.Глазков // — Кузнеч.-штампов, пр-во, 1969, N 10, с. 18–19.

*Для нотаток*

*Для нотаток*

*Навчальне видання*

**АЛІЄВА Лейла Іграмотдінівна  
АБХАРІ Пейман  
МАЛІЙ Христина Василівна  
КУЗЕНКО Олеся Анатоліївна**

**СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ  
ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

**Посібник**

**для студентів спеціальності 136 «Металургія»  
денної та заочної форм навчання**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання

І. І. Дьякова

27/2019. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк.. 5,60.  
Обл.-вид. арк. 3,65. . Тираж 25 пр. Зам. №47

Видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1633 від 24.12.2003