

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

**Л. І. Алієва,**

**Л. В. Таган**

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ  
ПРОЦЕСИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

**Посібник**

**для студентів спеціальностей  
131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія»  
денної та заочної форм навчання**

Затверджено  
на засіданні вченої ради  
Протокол № 7 від 27.02.2020

Краматорськ  
ДДМА  
2020

**Рецензенти:**

*Тітов В. А.*, д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», завідувач кафедри «Технологія виробництва летальних апаратів»;

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

*Електронне видання локального  
використовування на CD-ROM*

**Алієва, Л. І.**

А 50 Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / Л. І. Алієва, Л. В. Таган. – Електрон. дані. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.  
ISBN 978-966-379-927-8

Посібник містить матеріал, присвячений основним положенням ресурсозберігаючих процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням, класифікацію способів видавлювання, режими підготовчих операцій для заготовок, алгоритм проектування технологій, конструкції штампів для виконання основних способів видавлювання, залежності для розрахунку технологічних параметрів процесів; а також рекомендації по вибору параметрів робочого інструменту. Розглянуто також перспективи і напрямки розвитку технологій об'ємного штампування і видавлювання.

**УДК 621.777.4**

ISBN 978-966-379-927-8

© Л. І. Алієва, Л. В. Таган, 2020

© ДДМА, 2020

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>1. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ І ВИДАВЛЮВАННЯ</b>	<b>6</b>
<b>2. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ВИДАВЛЮВАННЯМ</b>	<b>17</b>
2.1. Напрямки розвитку процесів холодного об'ємного штампування	<b>17</b>
2.2. Комбіновані способи деформування та видавлювання	<b>33</b>
2.3. Нові способи видавлювання	<b>41</b>
<b>3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДАВЛЮВАННЯ</b>	<b>51</b>
3.1. Методика проектування технологічних процесів холодного видавлювання	<b>51</b>
3.2. Аналіз технологічності і розробка креслення деталі, яка штампується	<b>58</b>
3.3. Розрахунки силових параметрів деформування	<b>69</b>
3.4. Розробка процесів формоутворення типових деталей	<b>80</b>
3.5. Отримання заготовок способом розділення з прокату	<b>96</b>
3.6. Калібрування заготовок	<b>105</b>
3.7. Підготовка заготовок до видавлювання	<b>106</b>
<b>4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСАХ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ</b>	<b>109</b>
<b>5. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ</b>	<b>137</b>
5.1. Розробка штампів для видавлювання типових деталей	<b>137</b>
5.2. Конструювання змінного робочого інструменту	<b>147</b>
5.3. Особливості розробки штампів з роз'ємними матрицями	<b>161</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>171</b>
<b>ДОДАТКОВИЙ СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>172</b>

## ВСТУП

Розвиток машинобудування в сучасних умовах нерозривно пов'язаний з вдосконаленням технологій формоутворення в заготівельному виробництві і підвищенням розмірної точності і якості заготовок. Це є також найважливішим резервом заощадження енергетичних, матеріальних та трудових ресурсів. В сучасному виробництві поширюються області застосування процесів, заснованих на холодній пластичній деформації, яка дозволяє отримати точні розміри заготовок, високу якість поверхонь, а отже, скоротити, а іноді й повністю виключити подальшу обробку різанням. Деформаційне зміцнення металу заготовок, доповнене, при необхідності, термічною обробкою, сприяє отриманню виробів з заданими експлуатаційними характеристиками.

Рішення даного завдання вимагає використання нових наукоємних технологій обробки металів тиском, до яких відноситься і холодне об'ємне штампування (ХОШ) видавлюванням, що дозволяють отримати заготовку, максимально наближену до готового виробу за параметрами форми та розмірів.

Традиційні методи отримання холодним штампуванням прецизійних деталей – це холодна висадка за декілька послідовних переходів, деформування за простими схемами поздовжнього прямого або зворотного видавлювання. Значному поширенню можливостей процесів видавлювання служать нові способи поперечного (радіального і бокового) видавлювання у роз'ємних матрицях, які дозволяють виготовляти деталі складних, раніше недоступних форм. Обмеження на переходах пов'язані з граничними навантаженнями на інструмент при прямому видавлюванні, що змушують зменшити ступінь деформації. Інші обмеження пов'язані з втратою стійкості заготовки, що висаджується. Альтернативним та досить перспективним способом може служити комбіноване видавлювання, здійснюване за схемами поперечно-поздовжнього видавлювання. Процеси комбінованого видавлювання дозволяють значно зменшити силу, підвищити якість і експлу-

атаційні властивості виробів, досягти високої продуктивності праці. Дані процеси можуть бути застосовані для виготовлення виробів складної форми з розвиненими елементами типу фланець і стрижень, або бічний відросток за схемами поперечно-поздовжнього видавлювання.

Масштаби застосування процесів ХОШ постійно зростають в усіх галузях промисловості, особливо в машинобудуванні. Розширюються випуск обладнання і оснащення, які задовольняють технічні вимоги ХОШ, росте обсяг виробництва матеріалів, що відповідають вимогам технології холодного пластичного деформування.

В посібнику наведено опис способів ХОШ і видавлювання з урахуванням новітніх досягнень в галузі науки і техніки обробки металів тиском. Відмічений значний внесок в розвиток теорії і технології ХОШ вітчизняних і закордонних вчених і наукових шкіл.

Посібник призначений для студентів, магістрантів і аспірантів, які навчаються за напрямком галузі знань – Механічна інженерія та вивчають такі дисципліни, як «Технологія ковальсько-штампувального виробництва. ХОШ», «Ресурсозберігаючі процеси виготовлення деталей відповідального призначення», «Технологія холодного штампування». Мета видання – повідомити студенту основні відомості сучасного рівня виробництва точних заготовок та деталей способами ХОШ видавлюванням, дати необхідні поняття з проектування технологічного процесу видавлювання і штампового оснащення, вибору технологічних режимів і параметрів процесу і штампового оснащення, а також керування процесами формоутворення якісних виробів. Особливу увагу приділено новим перспективним розробкам в галузі розробки технологій видавлювання, конструювання штампів для нових способів видавлювання, оцінці їх технологічних можливостей і особливостей. Дано аналіз напрямків і перспектив розвитку технологій холодного видавлювання і існуючих обмежень для технологій, а також можливих дефектів деталей у вигляді відхилень форми та руйнувань.

# 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ І ВИДАВЛЮВАННЯ

Машинобудування відіграє ключову роль у розвитку економіки країни, а пріоритетним напрямком його розвитку є розробка і освоєння нових наукоємних технологій. На зміну класичним способам формоутворення деталей шляхом зняття стружки все більше знаходять застосування процеси об'ємного деформування. Саме таке вдосконалення технології машинобудування, пов'язане з істотним підвищенням точності і якості заготовок, є в сучасних умовах основним резервом забезпечення ресурсозбереження [1–5].

Серед перспективних процесів заготівельного виробництва чільне місце займають технологічні процеси точного об'ємного деформування. Технологічні ознаки отримання об'ємних заготовок штампуванням відрізняються оригінальністю можливостей, різноманіттям варіантів і високою ефективністю в порівнянні з іншими процесами формоутворення. Еволюція технологій об'ємного деформування демонструє стійку тенденцію до збільшення обсягів випуску точних заготовок з регламентованою якістю, розширенням їх типорозмірів і виду матеріалів, а результати освоєння нових технологій підтверджують ефективність, конкурентоспроможність і перспективність процесів пластичного деформування [5–8]. Рішення проблем інтенсифікації виробничих процесів в області металообробки нерозривно пов'язане з вдосконаленням і впровадженням нових маловідходних способів точного штампування, і особливо процесів деформування металу в холодному стані.

Технологія холодного об'ємного штампування (ХОШ) є ефективним методом виготовлення точних заготовок деталей машин. До ХОШ відносять процеси отримання заготовок, у яких розміри, форма і якість поверхонь максимально наближені до аналогічних параметрів готової деталі, внаслідок чого немає необхідності в подальшій обробці заготовки зі зняттям стружки, або вона зведена до мінімуму [8–14]. Відношення площі необроблюваних поверхонь

заготовок до площі всієї поверхні деталі у деталей, виготовлених холодним видавлюванням, може досягати 0,85...1,0 [6].

Розглянемо різновидності способів ХОШ, а також призначення і область їх застосування (рис. 1.1).

Процес відкритої осадки (схема А1) призначений для зменшення відносної висоти заготовки  $H/D$  і забезпечує калібрування вихідних заготовок для видавлювання по висоті і отримання паралельних торців заготовки, перпендикулярних осі симетрії. Закрита осадка (схема А1) використовується також для зменшення параметра  $H/D$  заготовок і для калібрування заготовок як по висоті, так і по діаметру.

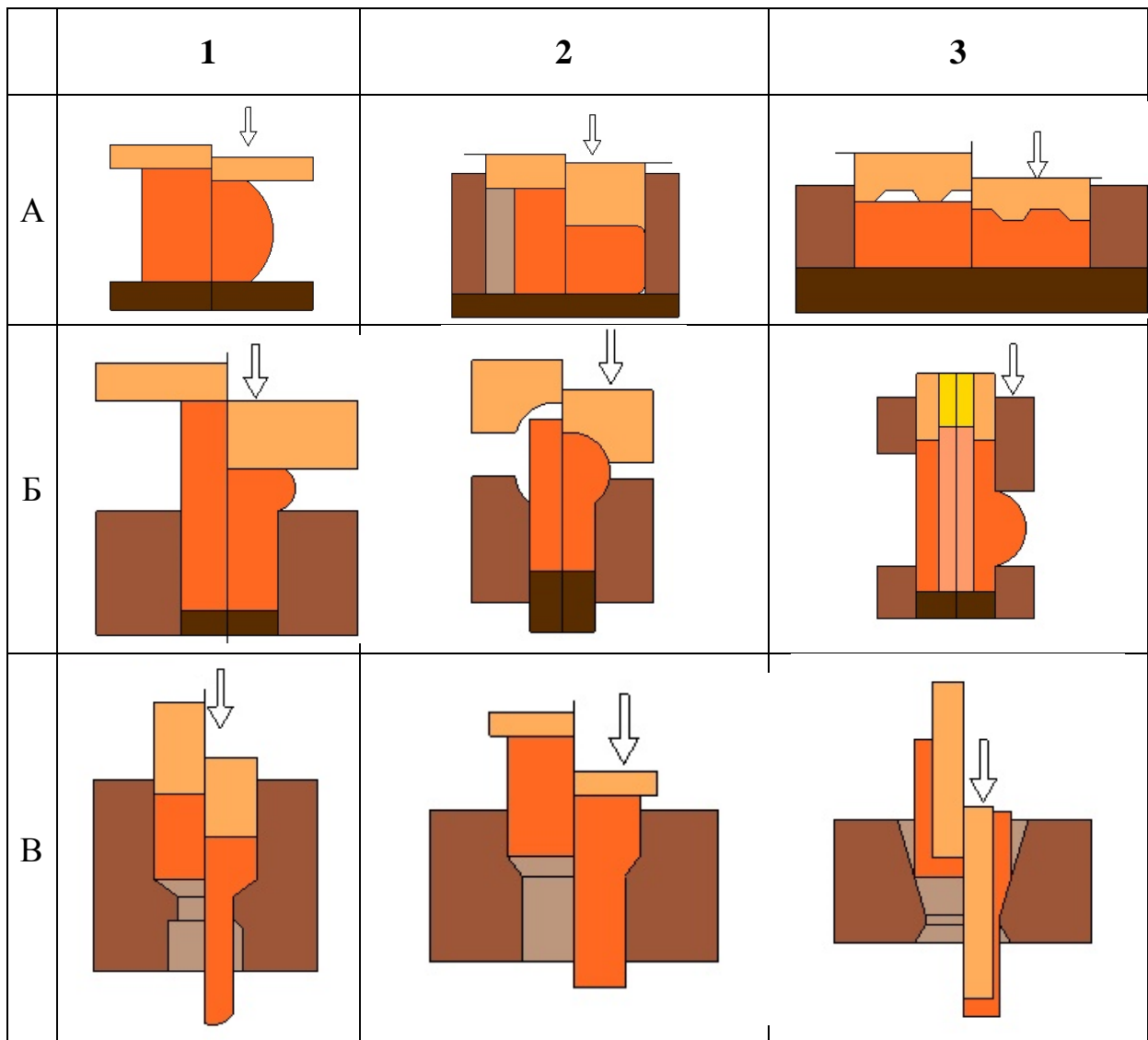


Рис. 1.1. Способи холодного об'ємного штампування

Карбування (чеканка) – це процес формування рельєфу деталей типу монет і медалей (схема А3). Іноді за такою схемою об'ємне формування виконують зі значною деформацією, що дозволяє отримати складні деталі типу корпусів годинників відкритим штампуванням з облоєм.

Висадка (схеми Б1, Б2) – це процес осадження частини заготовки і створення місцевих потовщень на кінці або в середині стрижневої або трубчастої заготовки. Спосіб призначений для виробництва кріпильних і інших східчастих виробів. Використовується і для набору металу для подальшого штампування. Закрита висадка (схема Б3) – процес створення місцевих зовнішніх і внутрішніх потовщень і фланців при виробництві деталей типу кульових пальців, східчастих валів, штуцерів, кріпильних виробів.

Редукування (схема В1) – це процес штампування ступінчастих гладких валів, деталей, ступінчастих деталей з наскрізною і глухою порожниною, з шліцями і канавками методом обтиснення заготовок з малим ступенем деформації. Спосіб видавлювання (схема В2) відрізняється від редукування тим, що об'ємне деформування металу відбувається в закритій порожнині. Тому деформування виконується з високими ступенями формозмінення. Спосіб витяжки з потоншенням (схема В3) протікає з невеликими ступенями деформації, оскільки сила для деформування розтягненням передається через частину заготовки. Спосіб призначений для доробки видавлених деталей типу глибоких гільз і стаканів.

Одним з найбільш перспективних напрямків вирішення проблеми інтенсифікації (підвищення ефективності) процесів ХОШ за рахунок розширення технологічних можливостей цих процесів є розробка і освоєння нових ефективних технологічних способів холодного *видавлювання*.

**Видавлювання** – це спосіб об'ємного деформування шляхом витискування металу із закритої порожнини через отвір постійного перерізу.



Класифікацію способів видавлювання (рис. 2) здійснюють, як правило, на основі їх поділу на два класи [2, 3–5, 8, 9]:

- а) базові або прості основні способи [2, 4];
- б) комбіновані способи, отримані шляхом з'єднання базових схем.

На рис. 1.2 показані у вигляді класифікації принципові схеми способів видавлювання. Залежно від співвідношення напрямків руху деформуючого інструменту (напрямку дії деформуючої сили) і напрямку течії (витікання) металу заготовки перший клас простих способів видавлювання підрозділяється на дві групи: поздовжнє (1 – пряме і зворотне) і поперечне (2 – радіальне і бокове).

Таким чином, можна виділити п'ять основних способів видавлювання, що відрізняються схемами напружено-деформованого стану та областю використання.

При поздовжньому прямому видавлюванні (1.1) витікання металу відбувається паралельно і вздовж осі симетрії в напрямку прикладення зусилля і збігається з напрямком руху пуансона. При зворотному видавлюванні (1.2) витікання металу відбувається в напрямку, протилежному руху пуансона.

Спосіб поперечного видавлювання, що характеризується течією металу в напрямку, перпендикулярному руху пуансона, можна поділити на два види. При поперечному *радіальному* видавлюванні (2.1) метал видавлюють в кругову порожнину, що приводить до утворення вісесиметричних деталей з фланцем або потовщеннями. Для *бокового* видавлювання (2.2) характерно течія металу в одну або декілька каналних порожнин, з утворенням на деталі відростків різної конфігурації.

Під п'ятим способом видавлювання позначимо підгрупу 3 схем комбінованого видавлювання, тобто способів другого класу, які отримані шляхом комбінації двох або трьох простих (прямого, зворотного і

поперечного) способів видавлювання. Комбіноване видавлювання відрізняється тим, що з початку процесу або на певному етапі метал має два або кілька можливих напрямків для одночасного витікання. Схеми суміщеного видавлювання 1.3 і 2.3 також є схемами комбінованого видавлювання, але відрізняються тим, що в них об'єднуються прості способи одного (поздовжнього або поперечного) виду.

Розглянуті основні способи видавлювання можуть бути реалізовані за різними варіантами (підвидами) для виготовлення деталей різного типу.

Серед базових способів є також різновидності в залежності від кінематичного варіанту виконання способу деформування, типу вихідної заготовки, особливостей конструкції деталі і штампового оснащення (рис. 1.3) [2, 3–5, 8, 9].

Для прямого видавлювання, яким видавлюють деталі типу стрижнів з фланцями, трубок або стаканів з фланцями, або гладких трубок, якщо видавлювання здійснюється на прохід, розроблені схеми деформування на оправці або на контрпуансоні (ряд А, б і в).

Способом зворотного видавлювання (Б) отримують деталі типу стаканів, тюбиків і коробок. Деталі типу втулок можна отримати при деформації трубчастої заготовки на оправці або пробиваючи денце видавленого стакану. Є також можливість формування суцільної деталі з фланцем при використанні порожнистого пуансону (ряд. Б, в).

Способи радіального видавлювання (ряд В) відрізняються можливістю активного регулювання кінематики подачі металу в матрицю і тим самим керування силовим і деформаційним режимами процесу, а також параметрами деталей, що виготовляються. При формозміні трубчастих деталей фланці можуть бути утворені і на внутрішніх поверхнях деталей [2, 3–5, 8, 9].

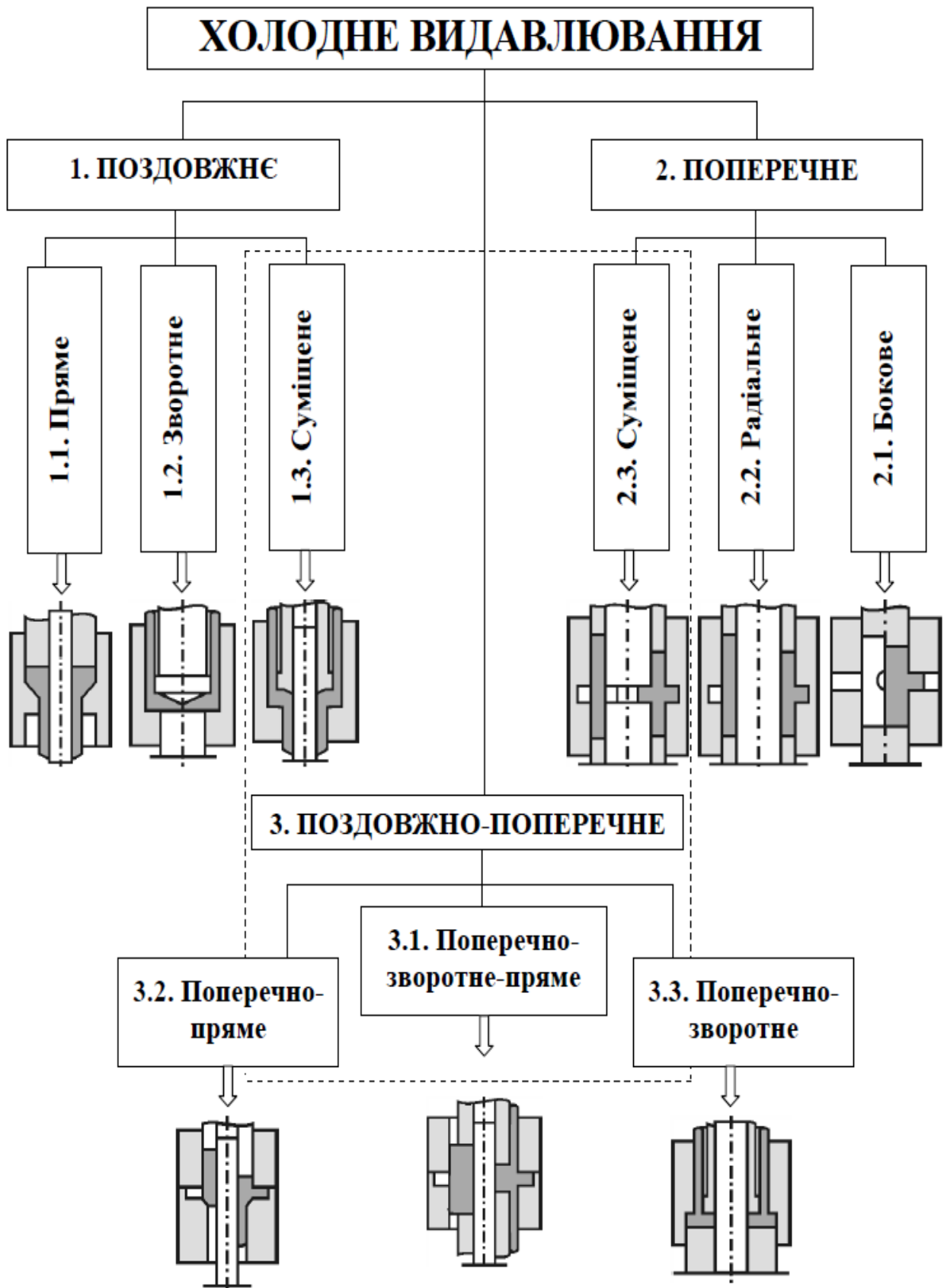


Рис. 1.2. Класифікація способів холодного видавлювання

Варіанти бокового видавлювання (ряд Г) залежать від конструкції деталей, числа відростків і виду вихідної заготовки. Виготовляються деталі складних просторових форм, наприклад, хрестовини, деталі арматури з відростками. Крім того, і при боковому видавлюванні є можливість регулювання подачі (одностороння або двостороння) металу в порожнину матриці.

Комбіноване видавлювання (ряд Д) переважно застосовують для виготовлення порожнистих деталей зі складним зовнішнім профілем. Є значна множина варіантів комбінованого видавлювання, які відрізняються видами суміщених простих схем, їх кількістю, послідовністю виконання за часом (етапом деформування) або на шляху течії металу. В кінці процесу в одному або двох напрямках метал зустрічає підпір, і комбінований процес можливо перетворюється в простий – прямий, зворотний або поперечний.

### ***Переваги процесів холодного об'ємного штампування***

Основні переваги холодного видавлювання полягають у високих показниках продуктивності, точності розмірів і якості поверхні, ефективному використанні металу, підвищенні механічних властивостей зміцнюючих матеріалів [2–5].

Застосування процесів видавлювання замість різання дозволяє максимально наблизити форму і розміри заготовок до параметрів готової деталі. Завдяки цьому досягається значна економія металу, скорочується, а іноді повністю виключається подальша обробка різанням. Холодним видавлюванням можна отримувати порожнисті і суцільні заготовки досить складної симетричної або асиметричної форми. Зовнішні та внутрішні поверхні деталі можуть мати циліндричну, багатогранну або зубчасту форму.

Можна перерахувати декілька переваг з точки зору економіки [2–8].

Низька витрата матеріалів: практично весь об'єм матеріалу вихідної заготовки знаходиться в готовій деталі. У деяких випадках КВМ може досягати 95%. Це особливо важливо при обробці дорогих кольорових матеріалів.

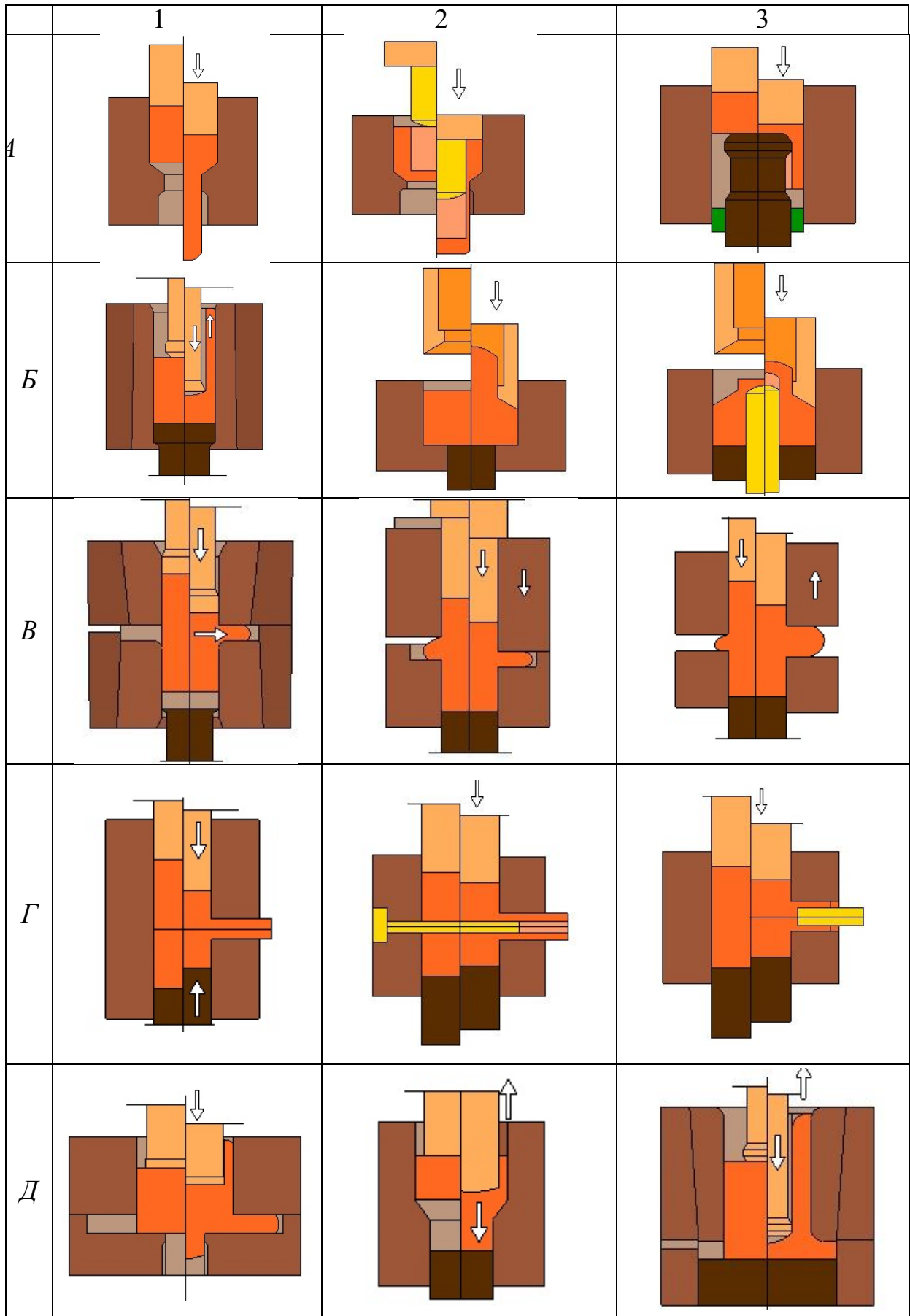


Рис. 1.3. Застосування способів холодного видавлювання для виготовлення деталей різного типу

Використання дешевих матеріалів: деформаційне зміцнення, яке супроводжує холодне штампування, зумовлює високу міцність кінцевого виробу. Можливо використовувати дешеві сталі з більш низькими вихідними властивостями міцності і отримувати деталі з властивостями дорогих матеріалів.

Зменшення / відмова від подальшої механічної обробки: подальша механічна обробка різанням часто необхідна лише у випадках виготовлення особливо складних форм виробу.

Найбільш висока продуктивність: дрібні деталі, які виготовляються, наприклад, з катанки (дроту), можуть бути отримані з продуктивністю до 200 шт. / хв. Для великих виробів, які отримують на вертикальних пресах, продуктивність доходить до 50 шт. / хв.

Можливість інтеграції декількох функцій / геометрів виробів в цілісний компонент: при проектуванні деяких виробів, які складаються з декількох частин, можливе спрощення їх конструкції і видавлювання деталей складних форм.

Крім того, мінімізовано процес виготовлення, логістики і транспортування.

Екологічні переваги процесів холодного деформування металу полягають в тому, що при здійсненні процесу менш шкідливі викиди. За рахунок відсутності нагрівання заготовок для штампування також менші енерговитрати на виробництво деталей.

### ***Класифікація деталей, що штампуються способами ХОШ***

Холодним об'ємним штампуванням та видавлюванням можна отримувати порожнисті і суцільні заготовки досить складної симетричної або асиметричної форми. Виготовляються деталі порожнисті, стрижневі, ступінчасті, з складним зовнішнім або внутрішнім профілем, з фланцем, з відростками, з наскрізним або глухим отвором, а також комбінованої форми. Зовнішні та внутрішні поверхні деталі у перерізі можуть мати циліндричну, багатогранну або зубчасту форму (рис. 1.4).

Деталі, які включені в групи 1–4, мають стрижневий або порожнистий корпус і фланець (стовщення), який розташовано на кінці або в середній частині деталі. Для виготовлення таких деталей застосовують способи висадки, прямого, радіального і комбінованого видавлювання. Для деталей групи 5 корисні схеми бокового і комбінованого зворотно-бокового видавлювання.

Деталі 6 і 7 групи виготовляються переважно зворотним видавлюванням. Іноді застосовують і схеми комбінованого зворотно-прямого видавлювання. При необхідності зворотне видавлювання доповнюють протяжкою зі стоншенням, висадкою і калібруванням. Для деталей типу стакану з фланцем (група 8) ефективно використання комбінованого радіально-зворотного видавлювання. Трубчасті деталі (група 9) видавлюють за способами прямого і радіального видавлювання. При використанні вихідної суцільної заготовки отримання втулки можливе шляхом наскрізного прошивання конічним пуансоном або зворотним видавлюванням, яке доповнюється пробиванням дна.

Шорсткість поверхонь холоднодеформованих деталей зменшується до 2,5...0,32 мкм, допуски на діаметральні розміри – в межах 0,2...0,4 мм, на товщину фланців і дна до 0,2 мм, на довжину деталі – 0,3...2, 0 мм [3, 5, 7].

Маса деталей, які можна виготовити ХОШ видавлюванням, знаходиться в межах від декілька грамів до 5–10 кг.

Розміри деталей такі: за діаметром від 1 мм до 100–200 мм, довжиною до 500 мм.

### ***Матеріали деталей, які штампуються***

Основними матеріалами деталей, що виготовляються холодним об'ємним деформуванням, є сталі низьколеговані, маловуглецеві, мідь, алюміній та їх сплави. Промисловість успішно засвоїла холодне видавлювання деталей зі сплавів, що деформуються, міді і алюмінію, а також маловуглецевих і низьколегованих сталей марок: М1, МА3, Л63-Л69, БрА5, БрАЖН10-4-4, БрКН1-3, А0, АД1, АД33, АВ, АМцМ, АМг, АМг2, АК6; Сталі 08-20, 15Х, 12ХНЗА, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Г23, 30Г13 і ін.

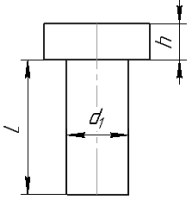
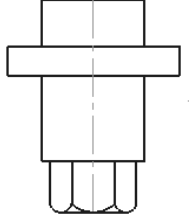
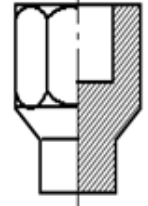
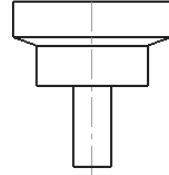
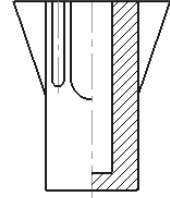
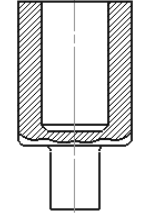
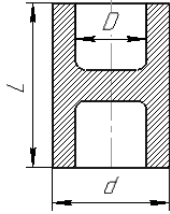
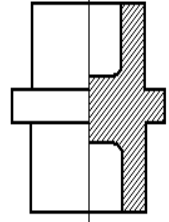
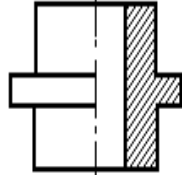
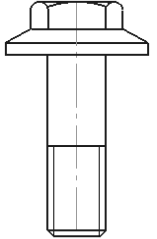
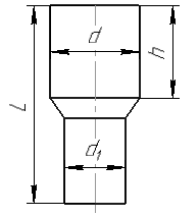
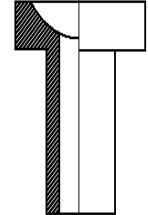
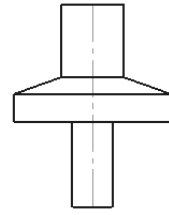
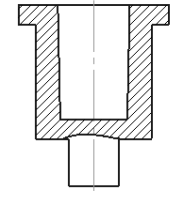
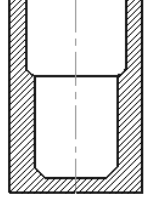
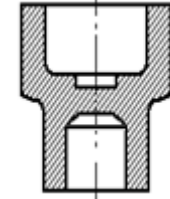
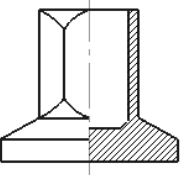
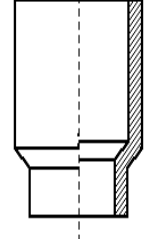
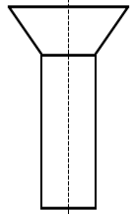
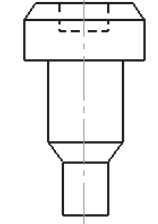
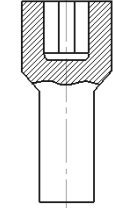
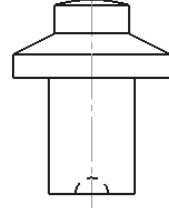
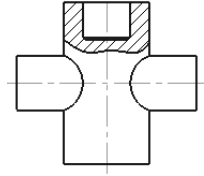
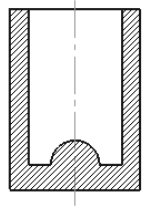
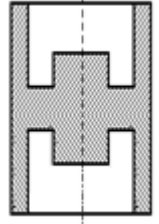
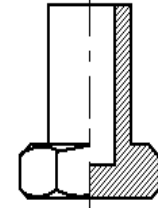
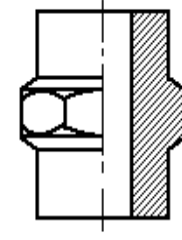
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
Б									
В									

Рис. 1.4. Типи деталей, які виготовляються способами ХОШ



## **2. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ВИДАВЛЮВАННЯМ**

### **2.1. Напрямки розвитку процесів холодного об'ємного штампування**

Інтенсивний розвиток технологій об'ємного деформування в останні роки засновано на фундаментальній науковій і практичній базі, створеній працями вітчизняних та зарубіжних вчених, що працюють в області теорії і технології обробки металів тиском (ОМТ) [15–30].

Інтенсивний розвиток технологій обробки тиском в останні роки засновано на фундаментальній науковій базі, створеній працями вітчизняних та зарубіжних вчених, що працюють в області теорії і технології ОМТ.

Основоположні для становлення і розвитку технології об'ємного штампування роботи виконали А. Е. Артес, Л. Б. Аксьонов, І. С. Алієв, Я. Ю. Бейгельзімер, К. М. Богоявленський, А. Л. Воронцов, А. В. Грушко, В. А. Головін, Ю. І. Гуменюк, А. М. Дмитрієв, В. І. Дорошко, В. В. Євстифеев, В. О. Євстратов, Я. Г. Жбанков, А. З. Журавльов, М. М. Золотухін, В. Г. Капорович, В. Л. Калюжний, Д. П. Кузнецов, В. В. Кухар, В. К. Лобанов, А. В. Лясніков, О. Є. Марков, В. А. Матвійчук, А. А. Міленін, Б. С. Мороз, Г. А. Навроцький, А. Г. Овчинніков, В. А. Огородніков, Л. Д. Оленін, І. П. Ренне, Л. М. Соколов, В. І. Стеблюк, Л. Г. Степанський, В. А. Тітов, Ю. К. Філіппов, П. Д. Чудаков, Л. А. Шофман, Р. Гейгер, К. Ланге, Х. Кудо, А. Н. Пасько, Х. Л. Д. П'ю, Г. Д. Фельдман, В. Фелькнер, Я. В. Фролов, Д. Еверхардт, М. С. Едуардов, С. С. Яковлев і багато інших вчених.

Основою інтенсифікації ковальсько-штампувального виробництва є створення нових, більш досконалих технологічних рішень, отриманих на основі розвитку наукових основ і узагальнення накопиченого виробничого і дослідницького досвіду в області ОМТ [29–43].

Базові лабораторії ряду заводів (НКМЗ, Енергомашспецсталь, ДМЗ, Мотор Січ та ін.), науково-дослідних і галузевих інститутів (ІСМ ім. В. М. Бакуля, ДонФТІ ім. О. О. Галкіна, ІПМ ім. І. М. Францевича, ЦНІТМАШ, НІТАвтопром, НІПТМАШ, ЕНІКМАШ и др.) та вузів (ДДМА, НТУУ «КПІ», НТУ «ХПІ», ВНТУ, МАМІ, БалтДТУ, МДТУ ім. Н. Е. Баумана, СПбДПУ, ПДТУ, Штутгартського університету, ТУ Дрездена та ін.) провели значну роботу з розробки, дослідження та освоєння нових наукомістких технологій точного об'ємного деформування.

Традиційні схеми пластичного деформування (кування і штампування) між двома інструментами: активним рухомим (молотом, пуансоном) і нерухомим (матрицею) інструментами не відповідають сучасному стану техніки та ускладненим технологічним завданням. Керування властивостями, перш за все, пластичною течією, технологічними факторами, вимагає більш складного силового і кінематичного впливу. Комбінування такими впливами, течіями, способами деформування, їхнє активне регулювання за часом, за шляхом відкрило широкі можливості в напрямку підвищення якості продукції, отримання деталей раніше недоступних складних форм в оптимальному силовому режимі з нових конструкційних і функціональних матеріалів [22–25].

У машинобудуванні все більшого поширення набувають комбіновані і гібридні методи обробки, засновані на поєднанні традиційних методів механічного впливу на оброблювану поверхню з методами електрофізико-хімічного (теплого, електромагнітного, хімічного, ультразвукового і т.п.) впливу [27, 31–35]. Більш широке поширення вони набули в технологіях механічної обробки різанням, листового штампування і поверхневої пластичної обробки.

У технологіях об'ємного деформування можна відзначити, як загально, тенденцію до поєднання операцій та комбінування технологічних прийомів і методів обробки. Процеси, в яких комбінуються різні способи об-

робки тиском, використовуються як у виробництві куванням великих поковок, так і при виготовленні штампуванням середніх і прецизійних виробів [32, 36–43].

Прагнення до комбінування фізичних ефектів і прийомів призвело в обробці тиском до створення ряду оригінальних і нетрадиційних технологій, таких як ізотермічне та надпластичне штампування [34], тіксоштампування [35], комбіновані процеси «лиття + штампування» [33], деформування порошкових заготовок [33].

Успішно розвиваються способи гідромеханічного, гідростатичного [23, 38] і гідродинамічного пресування, обробки в електромагнітному, електроімпульсному або в ультразвуковому полі [1, 36], а також спосіб локального пластичного деформування [23, 39, 42, 44], який є ефективним методом обробки нових матеріалів, що мають невелику пластичність та важко деформуються.

Для отримання штампованих виробів із заданим рівнем експлуатаційних властивостей застосовуються методи штампування з керуванням якістю шляхом призначення оптимальної програми деформування заготовок, зниження нерівномірності і локалізації деформацій [8, 29, 31], усунення руйнування і відхилень форми деталей за рахунок керування пластичною течією і, відповідно, переважаючою схемою НДС [28, 38]. Нові можливості в інтенсифікації формозміни і створенні необхідного виду деформацій, що забезпечують найкраще опрацювання структури, відкривають процеси комбінованого впливу: осадження із зсувом [45], штампування з крученням [45], штампування з рідинним тертям [41], деякі нетрадиційні схеми штампування і пресування з контактним використанням сил тертя [20, 43].

У зв'язку з цим дуже перспективними є нові способи інтенсивної пластичної деформації (ПД): видавлювання в рівноканальній матриці (процеси простого зсуву) [46], знакозмінне деформування [27, 29], гвинто-

ва екструзія [47] і різноосьове кування, розширююча екструзія [25], що дозволяють досягти якісного стрибка результатів холодної пластичної деформації за рахунок накопичення в об'ємних заготовках великих пластичних деформацій. Внаслідок цього в оброблених заготовках формується ультрадрібнозерниста (нано-) структура і вони набувають унікальних властивостей [46, 47].

Перспективним є процес здійснення послідовних операцій, який отримав назву комплексного заготівельно-розділового процесу (КЗРП) [33]. КЗРП полягає у відділенні заготовки від прутка, калібруванні, відпалі і підготовці поверхні на одній технологічній позиції. Якісна підготовка поверхні і структури заготовки до холодної деформації є важливою умовою стабільного протікання процесу [2, 5, 23].

Для забезпечення великого перепаду між діаметрами фланців і заготовок розроблені способи холодного торцевого розкочування і близькі до них за можливостями процеси обкатування і сферорухомого штампування [23, 29]. Великий інтерес для інтенсифікації формозміни представляють способи деформування з комбінованим навантаженням силами тертя, натягу або протитиску, з обтисканням і формоутворенням різьблення або шліцьових та спіральних канавок [38, 48, 49], а також впливу обертовими інструментами (термофрикційне видавлювання, локальне деформування та ін.) [23, 24, 28, 50]. Відзначимо, що керування НДС за допомогою сил тертя або протитиску має сприяти і досягненню більшою мірою формозміни без руйнування заготовки.

На цій основі запропоновано альтернативні способи обробки, які представлені на рис. 2.1.

За способом термофрикційного формування (схема 1) зниження сили деформування забезпечується за рахунок локального нагрівання до кувальної температури ділянки заготовки, що піддається деформації [50]. Надання пуансону, який деформує, при зворотному видавлюванні додатково-

го обертального руху дозволяє знизити навантаження на інструмент за рахунок створення активних сил тертя (схема 2). Деякі дослідники повідомляють про корисність обертання матриці для зниження сил пресування. В роботі [51] стверджується, що використання способу зворотного видавлювання з обертовим виштовхувачем, на торці якого виконані радіально розташовані западини, дає найбільший ефект. В цьому випадку, поряд з активізацією контактної ковзання на дні матриці, метал з осередку деформації примусово проштовхується в стінку виробу, що дозволяє мінімізувати товщину стінки і дна виробу.

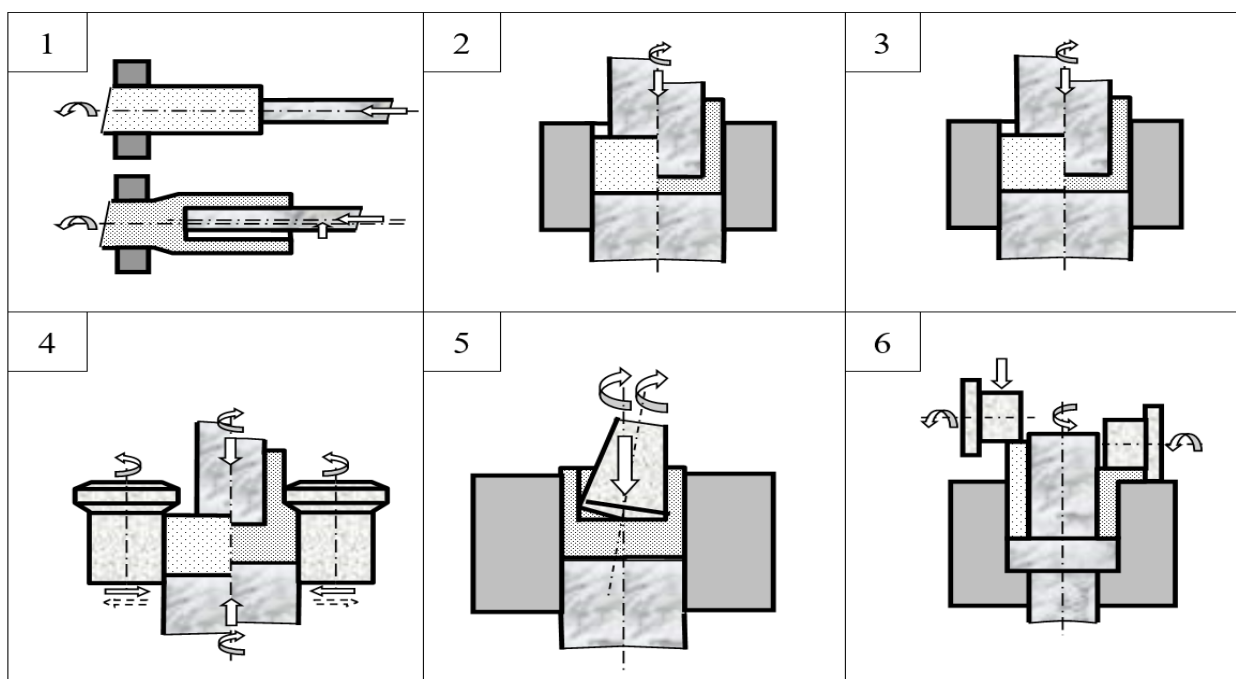


Рис. 2.1. Способи виготовлення прецизійних деталей з різною кінематикою руху інструменту

Цікаві можливості мають методи сферорухомого і валкового штампування (див. рис.2.1, схеми 3 і 4), в яких одночасно відбувається поєднання видавлювання і локального деформування поверхні заготовки роликками (валками), які виконують функцію півматриці. Таке комбіноване навантаження дозволяє отримувати за рахунок інтенсифікації пластичної течії

складні осесиметричні деталі або кільця на одній позиції обробки [23, 45, 48–51].

Зворотне видавлювання порожнистої заготовки в процесі холодного торцевого розкочування конічним деформуючим інструментом представлено на схемі 5 (див.рис. 2.1) [23]. Оформити фланці у втулок або кілець можна в процесі торцевого розкочування циліндричним (див. рис. 5.1, схема 6) або конічними інструментами [4, 29]. Схеми деформування 4–6, як і схема 1, відносяться до способів з локальним характером прикладання навантаження, що дозволяє значно знизити зусилля деформування.

У машинобудуванні ведеться розробка і впровадження нових матеріалів для процесів ОМТ [4, 33]. Можна відзначити загальну тенденцію до заміни сталей алюмінієвими і легкими сплавами [33, 35, 36]. У виробництві сучасних машин і приладів, озброєнь спостерігається тенденція до застосування сплавів, які мають хороші експлуатаційні властивості, але разом з тим зі зниженою пластичністю [38].

Розвиток аерокосмічної, електронної, автомобільної та інших високотехнологічних галузей промисловості вимагає вдосконалення технологій формоутворення нових матеріалів і нових видів виробів і, відповідно, використання нових способів деформування, а також нових видів технологічного оснащення і обладнання [23, 24, 33].

Серед перспективних процесів заготівельного виробництва важливе місце займає технологія холодного об'ємного штампування (ХОШ) [2, 4, 23, 24, 33]. До ХОШ відносять процеси отримання заготовок, у яких розміри, форма і якість поверхонь максимально наближені до аналогічних параметрів готової деталі, внаслідок чого немає необхідності в подальшій обробці заготовки зі зняттям стружки, або вона зведена до мінімуму. Відношення площі необроблюваних поверхонь заготовок до площі всієї поверхні деталі у деталей, виготовлених ХОШ холодним видавлюванням, може досягати 0,85...1,0 [33].

Технологічні способи видавлювання відрізняються різноманіттям можливостей і високою ефективністю в порівнянні з іншими процесами формоутворення деталей. Процеси видавлювання останнім часом також демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва, розширення номенклатури деталей і матеріалів, до створення нових способів формозміни і нових видів спеціалізованого технологічного обладнання і оснащення.

Визначення перспектив розвитку технологій об'ємного пластичного формоутворення (ОПФ) вимагає складання великого набору гіпотетичних способів його здійснення. Тому, застосування спеціальних методів спрямованого пошуку, наведених в літературі з оптимального проектування [28, 52] при розробці нових технологій ОМТ є перспективним.

Пошук і аналіз результатів попередніх досліджень і технічних рішень проблеми підвищення ефективності технологій ОПФ вели заздалегідь визначеними траєкторіями розширення можливостей процесів деформування шляхом вирішення проблемних завдань і усунення наявних на шляху обмежень. Огляд проблемних завдань і шляхів вдосконалення процесів об'ємного деформування виконаний автором в роботі [8, 31], а фрагменти огляду наведені на рис.2.2. Для всіх процесів ОМТ, як показано вище, характерні подібні проблеми і завдання, тепер розглянемо їх особливості стосовно технологіям ОПФ. Цілями вищого рангу прийняті найбільш загальні показники, які складають ефективність технологічної системи [2, 23, 28], а далі на наступних рівнях встановлені фактори, що визначають значення цих показників, і далі цільові об'єкти дослідження та шляхи досягнення необхідних цільових ефектів, які є рішеннями завдань. Такі схеми сприяють, як розкриттю означеної проблеми, так і виявленню найбільш перспективних ліній «наступу» на неї [28].

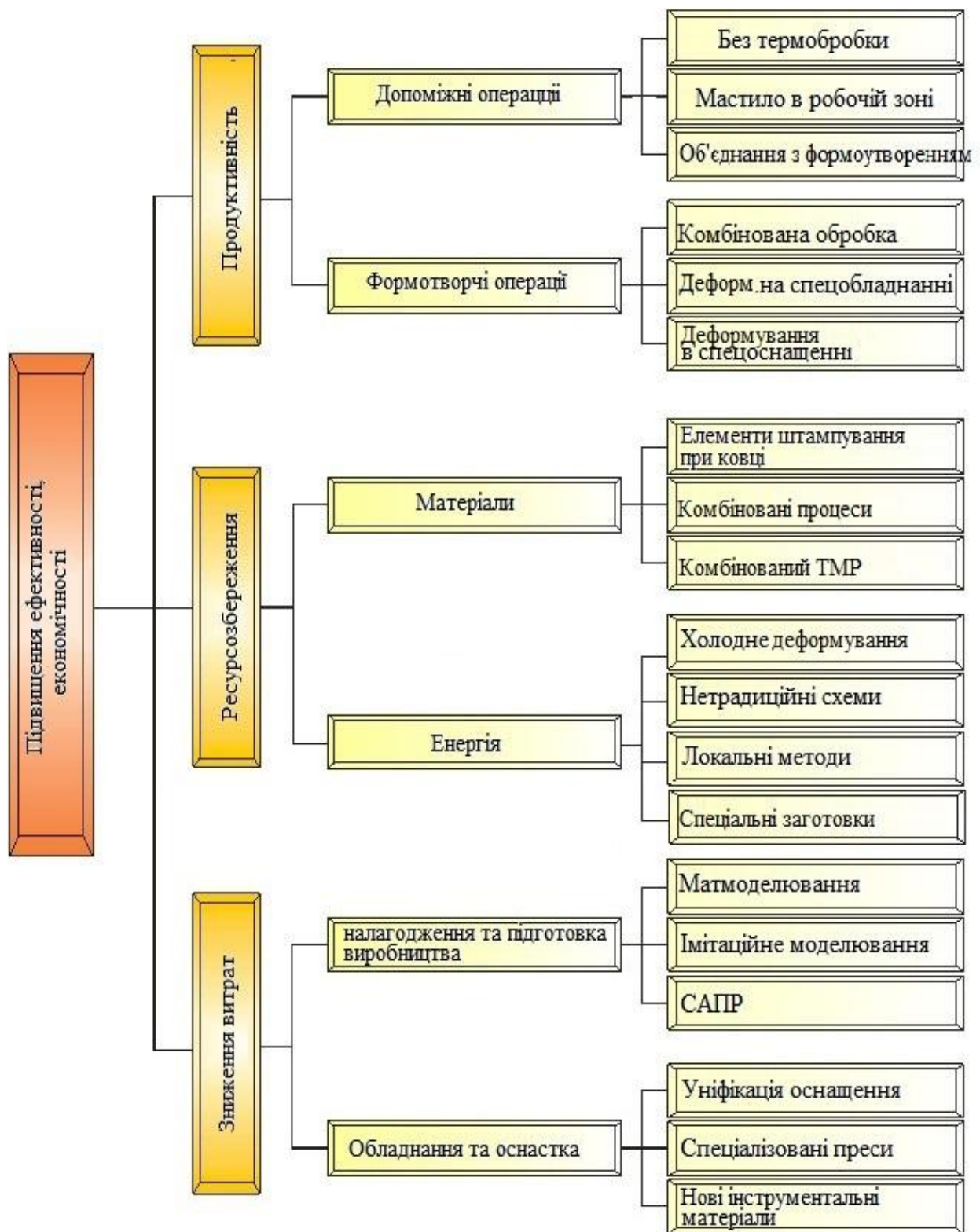


Рис. 2.2. Удосконалення процесів об'ємного штампування шляхом підвищення їх ефективності та економічності (аркуш 1)



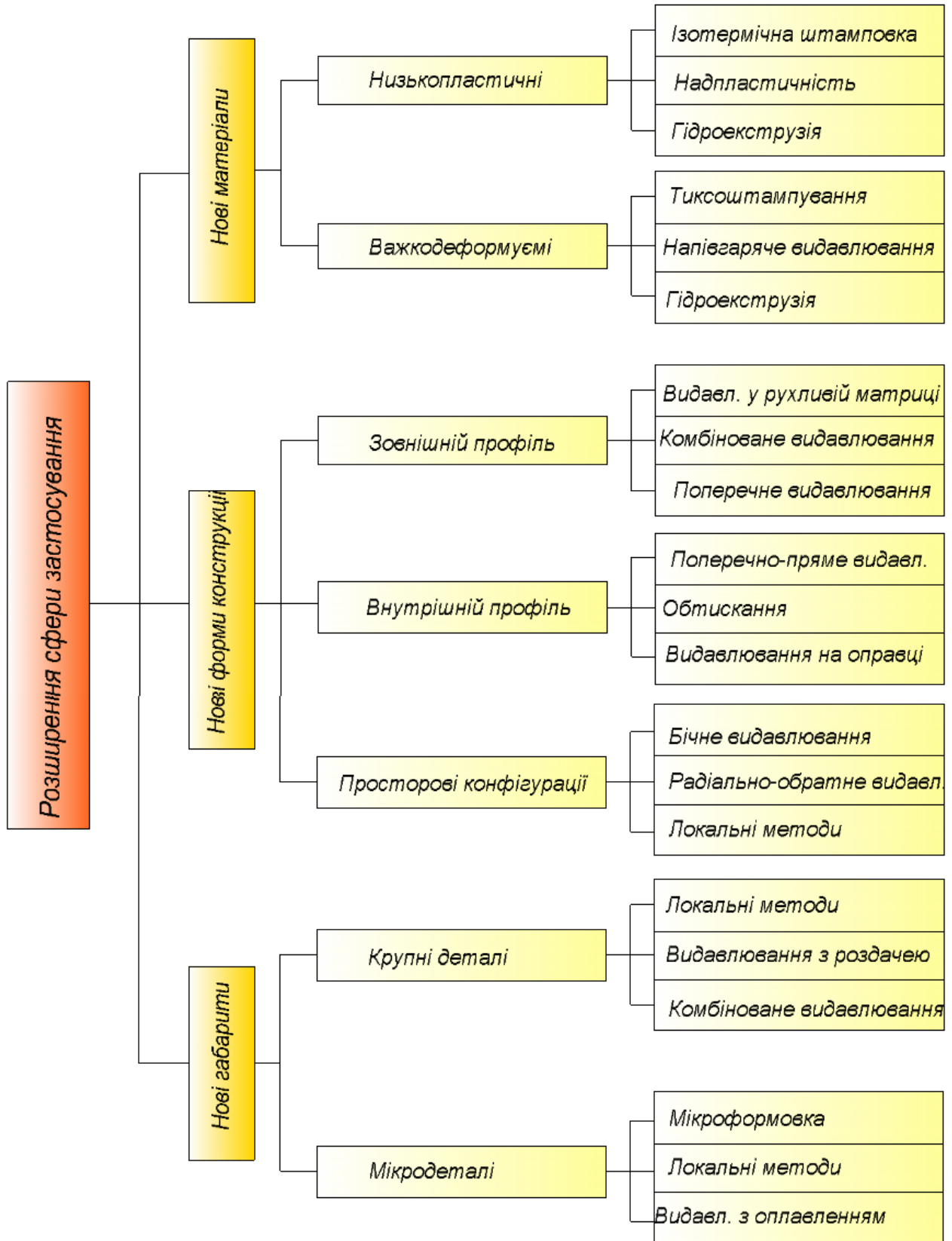


Рис. 2.2. Шляхи удосконалення та розвитку процесів об'ємного деформування (аркуш 2)

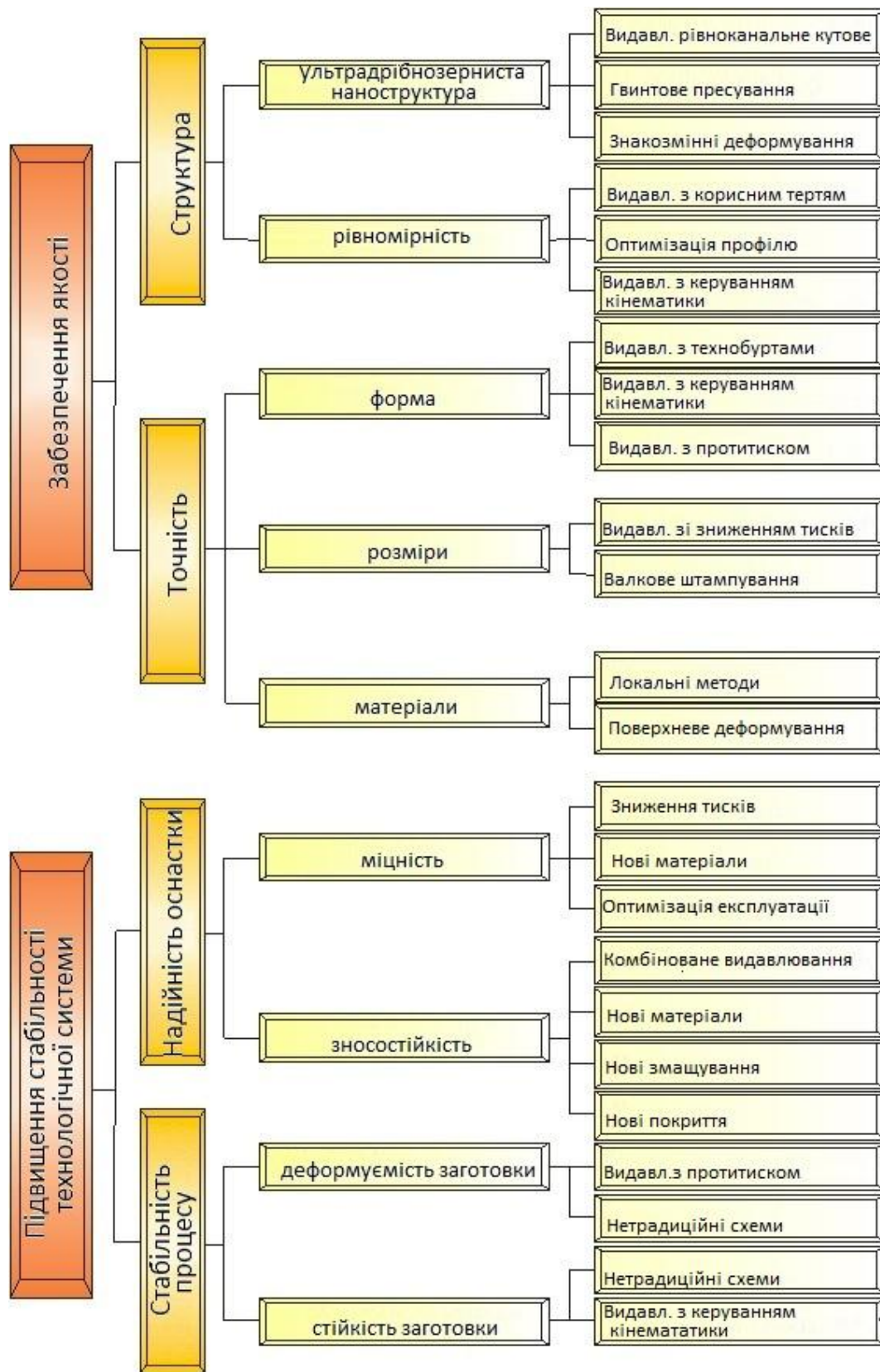


Рис. 2.2. Шляхи удосконалення та розвитку процесів об'ємного деформування (аркуш 3)

Аналіз показує, що основні напрямки або шляхи вдосконалення ОПФ – це практично ті ж самі, що і в цілому для ОМТ, хоча тут є і свої особливості, обумовлені розмірами деталей і програмами випуску продукції [8, 53]:

- розширення сфери застосування процесів ОПФ;
- освоєння нових видів виробів більш складних форм і габаритів;
- деформування нових матеріалів;
- підвищення якості та експлуатаційних властивостей деталей;
- забезпечення стабільності та надійності технології та оснащення.

Застосування нових прийомів і способів деформування, комбінування і поєднання операцій, є основними методами вирішення зазначених проблем розвитку процесів ОПФ.

Збільшення габаритів і маси штампованих деталей є одним із шляхів розширення можливостей ОПФ, у тому числі ТОШ [36]. Приклади штампування деталей масою до 10 кг і більше показують, що ОПФ цілісних заготовок є ефективною заміною трудомістких технологій штампування-збірки і (або) штампування-зварювання [22, 33].

Аналіз опублікованих джерел і досвід передових підприємств показують, що підвищення складності форми одержуваних деталей сприяє різкому підвищенню техніко-економічних показників і конкурентоспроможності нових технологій. До деталей складної конфігурації, які можна отримати ХОШ, відносяться стакани з профільованою зовнішньою [33, 40] або внутрішньою поверхнею [38], втулки, які мають ребра та ступені [8], стакани і коробки зі змінною товщиною стінки [2], гайки кріплення колеса [36], обойма стартера [36], втулка заднього колеса велосипеда [2], стрижні з конічними елементами [7, 23], конічні стакани [1] та ін. В літературі наводяться приклади складних автодеталей, отриманих ХОШ: приводні вали, зубчасті колеса, черв'ячні шестерні, синхронізатори, клапанні тарілки, конічні шестерні диференціала, шліцьові вали, деталі вприскувальних насосів і автогенераторів [3, 6, 35, 36, 40, 42].

У приладобудуванні успішно реалізовано видавлювання деталей типу коробок із сплавів кольорових металів [2, 33].

Деформування на оправці використовують при отриманні порожнистих складнопрофільованих деталей типу шестерень, анодів з оребреною поверхнею [8] і порожнистих деталей зі східчастим отвором.

Для складних деталей підходять і способи деформування з більш сприятливими схемами деформування, які полегшують процес, дозволяють значно підвищити якість деталей і продуктивність праці: видавлювання з роздачею [8, 24, 25, 55–58], вільне (безматричне) видавлювання порожнистих деталей [54], видавлювання з локальним навантаженням [23, 29].

Перспективним маловідходним процесом є комбінований спосіб зворотного видавлювання-прошивки втулок конічним пуансоном, названий наскрізним прошиванням (рис. 2.3). Процес полягає в тому, що пуансон з конічним торцем прошиває з декількох заготовок верхню наскрізь, утворюючи втулку з наскрізним отвором [59]. Спосіб наскрізного прошивання, який передбачає фасонування вихідних заготовок з опуклоувігнутими конічними торцями (рис. 2.3, а) сприяє зниженню утягнень на торцях і підвищенню якості втулок. Для цієї ж мети запропонований спосіб наскрізного прошивання з обтисненням в рухомій матриці (рис. 2.4, б) [53]. Перевагою способу є і можливість отримання втулок з буртами. Оригінальною, але маловивченою є схема (в), що передбачає комбінування формозмінної операції радіального видавлювання з розділовим процесом наскрізного прошивання і дозволяє отримати напівбезперервне штампування деталі типу кілець [8].

Виробництво порожнистих деталей способами ХОШ ефективно через велику кількість поверхонь, які формуються. Для цього, в основному, застосовуються методи поздовжнього видавлювання, які також піддаються інтенсивному вдосконаленню [2, 20, 24, 42, 53].

Характерними обмеженнями технологій холодного деформування, що знижують стабільність процесу і стійкість штампового інструменту, є

високі питомі та повні сили деформування [1–6]. Для усунення цих обмежень запропоновані способи деформування, в яких зниження навантажень на інструмент відбувається за рахунок створення різнойменної схеми напружено-деформованого стану [2, 35], зменшення площі контакту інструменту для деформування із заготовкою [2, 8], роздачі [24, 25], а також за допомогою додаткових комбінованих силових і кінематичних впливів на заготовку [8, 53].

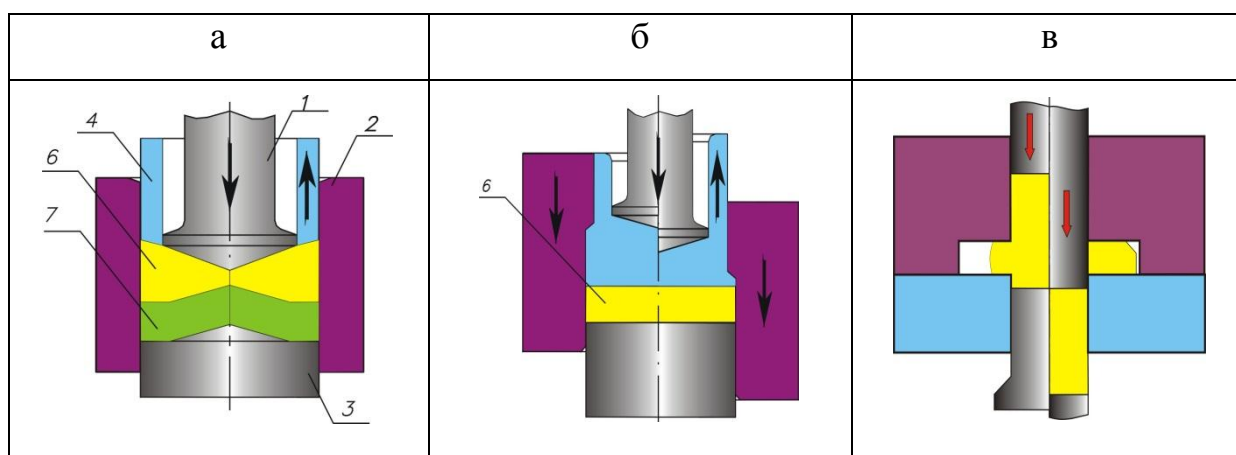


Рис. 2.3. Отримання деталей з наскрізним отвором з суцільної заготовки (комбінування видавлювання з наскрізним прошиванням)

Істотно впливає на енергосилові параметри процесів ХОШ і якість деталей спосіб деформування. Розглянемо деякі способи, спрямовані на вдосконалення можливостей процесів ХОШ.

При видавлюванні за схемами 1–4 (рис. 2.4) інтенсифікація деформування досягається за рахунок корисного використання дії сил контактної тертя або натягу [53]. Реактивне тертя виявляється також корисним, оскільки сприяє підвищенню гідростатичного тиску в осередку деформації (схема 1) [1, 53].

Завдяки створенню протитиску в схемах 2 і 3 керують нестійким процесом деформування [27], підвищують пластичність матеріалу і виключають появу утягнення фланців або біля дна стакану [8, 53] і вирівнюють торці деталей складної конфігурації [2].

За рахунок створення сил натягу в схемах 4–6 (див. рис. 2.4) силу деформування зменшується на 30–37% [1, 2, 24]. Схема з рухомих контрпунсоном застосовувалася для виготовлення стакану з ребрами або тонкостінної втулки [51]. Як відомо, перетворення реактивних сил тертя в активні дозволяє знизити силу деформування до 30% [1, 24]. Аналогічні дослідження, проведені в Інституті ОМТ Штутгартського університету, також демонструють ефективність створення додаткових впливів на заготовку [60].

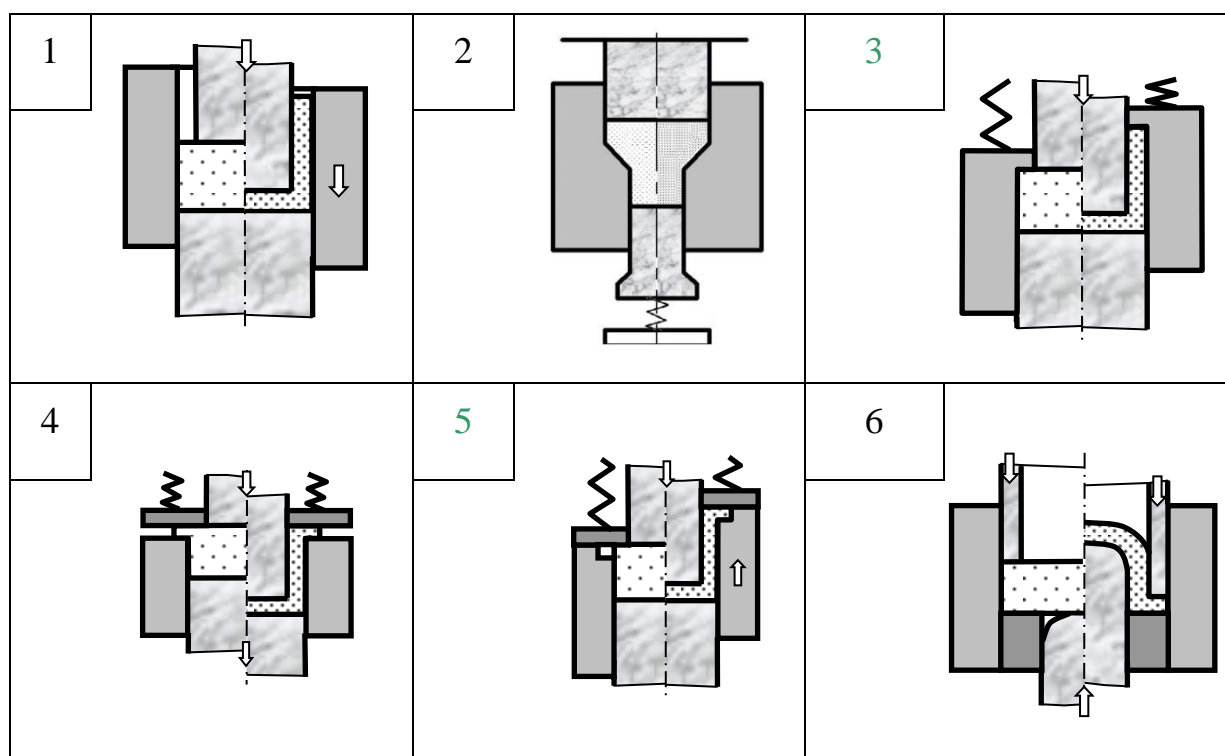


Рис. 2.4. Способи видавлювання порожнистих деталей з додатковим силовим впливом

На рис. 2.5 наведено для прикладу наявного різноманіття варіанти виготовлення деталей типу «втулка з фланцем» видавлюванням в нерухомій і рухомій матрицях. Поєднання способів радіального видавлювання (схема А1) сприяє отриманню як зовнішніх, так і внутрішніх фланців. Загально визнаним і характерним дефектом для радіального видавлювання є відхилення форми у вигляді утягнення, які утворюються в зоні формування фланця. видавлювання в штампі з рухомою напівматрицею (В1) доці-

льно для запобігання дефектам форми. Схеми 2 (А і В) спрямовані на отримання зовнішніх або внутрішніх буртів або потовщень.

Для розширення можливостей процесу ефективні способи видавлювання з додатковими осередками деформації, створюваними послідовно або паралельно з основним осередком деформації. За технологічними схемами 3 видавлювання доповнено протягненням і обтисненням (або осадженням-обтисненням), що дозволяє отримати деталі зі змінною товщиною стінки, з високою точністю розмірів і якісною поверхнею. Видавлювання з застосуванням керованих сил тертя за допомогою рухомої оправки (схеми 4) сприяє підвищенню стійкості заготовки, яка деформується, і профілізації (різьблення і т.д.) бічних поверхонь.

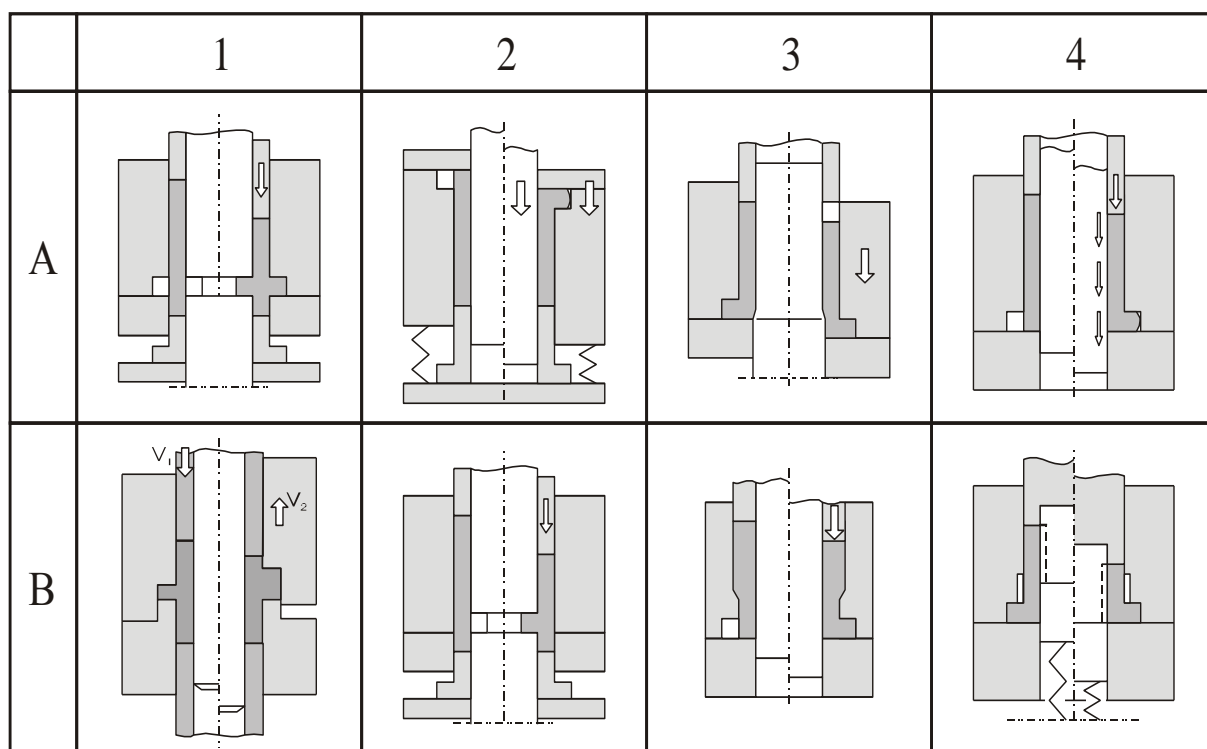


Рис. 2.5. Способи видавлювання деталей типу втулок з фланцям

Відзначимо, що для більшості з розглянутих схем характерно здійснення комбінованого впливу на заготовку. Тому зупинимося докладно на аналізі різновидів і особливостей саме технологічних схем комбінованого деформування і видавлювання.

Комбіновані способи деформування особливо ефективно застосовувати в процесах ХОШ, що обумовлені малими габаритами одержуваних деталей і відповідно компактністю технологічних установок, що створює можливості для здійснення комбінованих силових і кінематичних впливів на деформуюче середовище.

Серед комбінованих схем деформування можна виділити гаму способів, спрямованих на зниження силових параметрів холодного деформування. Значне зниження енергосилових параметрів при виготовленні порожнистих виробів можна спостерігати в способах видавлювання з роздачею (рис. 2.6). У них деформування супроводжується збільшенням поперечних розмірів по всій висоті або на окремій ділянці заготовки і виникненням різнойменної схеми напруженого стану.

При видавлюванні гравюр матриць за схемами 1–3, в деяких випадках, сила деформування може бути знижена на 30–36% [4].

Роздача матеріалу заготовки може відбуватися в межах найбільших поперечних розмірів заготовки без їх збільшення (роздача в межах заготовки: схеми 4, 6, 7) і зі збільшенням поперечних розмірів заготовки (роздача в інструмент: схеми 5, 8, 9 і т. д.) [4].

Для зменшення сил деформування при виготовленні конічних порожнистих виробів передбачають у способах деформування протягуванням матеріалу заготовки одночасно в двох напрямках: зворотному і радіальному (схема 10), зворотному з роздачею і прямому (в нижню частину порожнини матриці (схема 11) [53]. Зменшити напруження розтягнення в процесі прямого видавлювання конічних стаканів (схема 12) допомагає вибір певним чином кутів нахилу твірних матриці і нижнього пуансона так, щоб площа входу в конічну порожнину дорівнювала площі виходу з неї [1].



## 2.2. Комбіновані способи деформування та видавлювання

Комбіновані процеси поєднують різні прості способи деформування. Причому, поєднання простих схем може бути суміщеним або послідовним як за часом, так і за шляхом деформування [1, 8, 15, 52–62]. Для суміщених способів характерні кілька ступенів свободи (можливих напрямків) течії металу. Комбіноване поздовжнє (зворотно-пряме) видавлювання отримало розвиток завдяки дослідженням і розробкам А. М. Дмитрієва, В. А. Євстратова, А. Л. Воронцова, Л. Д. Оленина, В. Л. Калюжного та інших вчених [2, 4, 20, 24, 51]. Інтерес представляють розробки, присвячені методам керування пластичною течією за рахунок сил контактного тертя [1, 2, 32, 39] і додаткових силових впливів [1, 51, 60].

Способи комбінованого видавлювання, що поєднують поздовжні схеми (пряме, зворотне видавлювання), представлені на рис. 2.7. Комбіноване зворотно-пряме видавлювання стаканів з зовнішніми осьовими суцільним (схема 1) [24, 53] або порожнистим (схема 2) [4] відростками активними деформувальними пуансонами з різною конфігурацією робочої частини дозволяє істотно знизити силу формозміни. Забезпечення додаткової прямої течії матеріалу заготовки в приймач нижнього інструменту при формозміні за схемою 1 дозволило на 10–15% знизити силу деформування [4].

У разі комбінованого видавлювання зсувом (КВЗ) через те, що відсутнє ковзання металу об стінки матриці, спостерігається значне зниження сили деформування (схема 4) [62].

На відміну від комбінованого видавлювання зсувом, у схемі 5 активним деформувальним інструментом є верхній кільцевий пуансон, внутрішній діаметр якого більше діаметра нижнього пуансона.

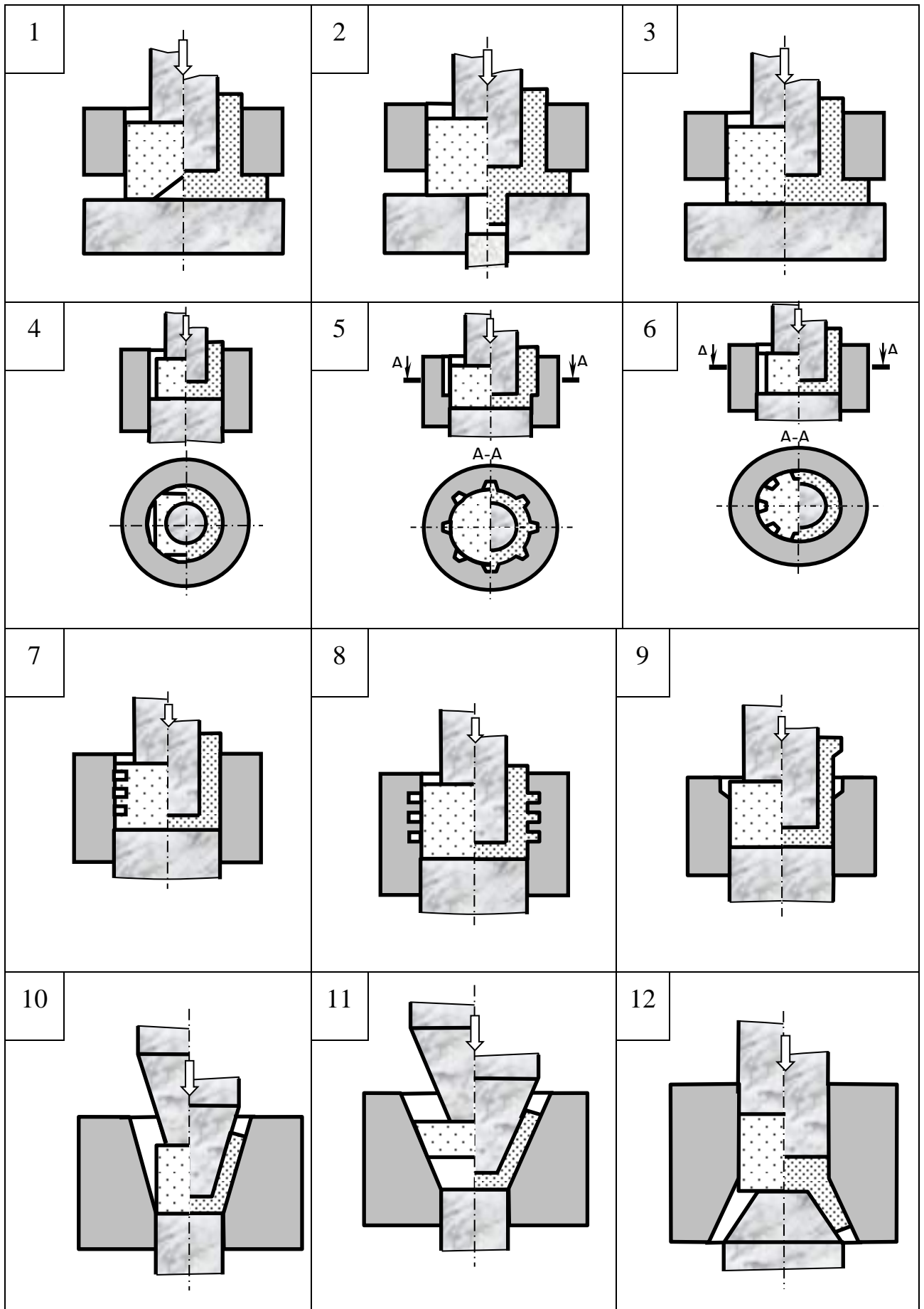


Рис. 2.6. Схеми видавлювання з роздачею

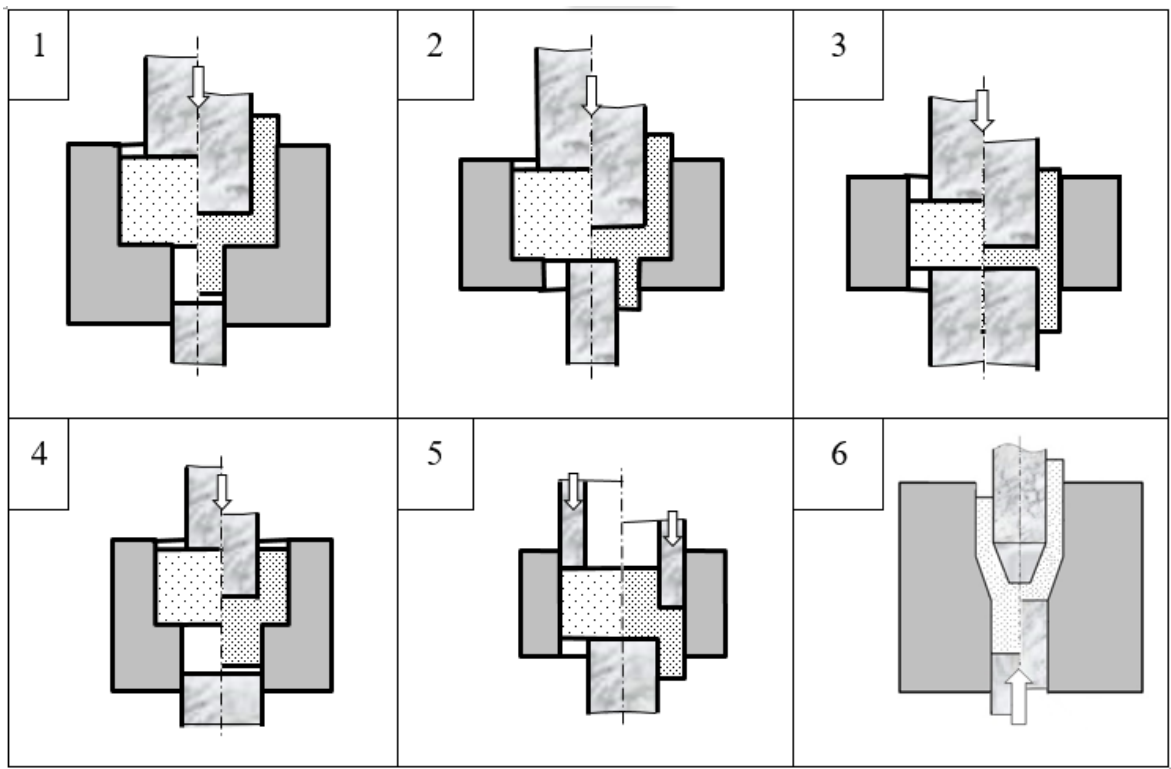


Рис. 2.7. Схеми комбінованого поздовжнього видавлювання

За схемою 6 спочатку здійснюється комбіноване видавлювання, при цьому реалізується технологічний прийом виключення різностінності за рахунок самоцентрування пуансона відносно матриці за способом [24]. У матрицю встановлюється заготовка, контрпуансон нерухомий. При русі головного пуансона відбувається комбіноване видавлювання, а при русі контрпуансона – пряме видавлювання з роздачею (за так званою схемою М. Куногі [15]).

Способи комбінованого видавлювання, що поєднують схеми традиційних схем поздовжнього (зворотного і прямого) і поперечного видавлювання можна віднести до перспективних способів ХОШ, оскільки вони дозволяють отримати за одну операцію деталі найбільш складних форм [8, 56]. Комбіноване поздовжньо-поперечне видавлювання з суцільної заготовки характеризується різноманітністю варіантів реалізації [8].

Залежно від характеру з'єднання простих схем в одному комбінованому процесі способи можна розділити в першу чергу на суміщені і послідовні процеси. Серед способів суміщеного комбінованого радіально-

поздовжнього видавлювання (рис. 2.8) виділимо, як найбільш універсальну, схему тристороннього радіально-зворотно-прямого видавлювання (схема А1) для отримання порожнистої деталі з фланцем і відростком. Способом радіально-зворотного видавлювання можна отримати як порожнисті деталі типу «стакан з фланцем біля дна» (схема 1 без відростку), так і деталі типу стрижня з фланцем (схеми 2, 3). Комбінованим радіально-прямим видавлюванням можна виготовляти деталі з фланцем із суцільних і трубчастих заготовок (схема 4).

Способи комбінованого радіально-зворотного (поздовжнього) видавлювання (1) займають в ряду розглянутих схем переважне місце в сенсі виникаючих низьких робочих навантажень і тому можуть бути рекомендовані і для матеріалів з підвищеним опором деформації.

Найбільш важкою в реалізації схемою може бути спосіб радіально-прямого (суміщеного за часом і за осередком деформації) видавлювання (схеми 2–4), при якому на границях розділу течії виникають значні зсувні деформації, що викликають небезпеку розділення частин заготовки уздовж цієї межі.

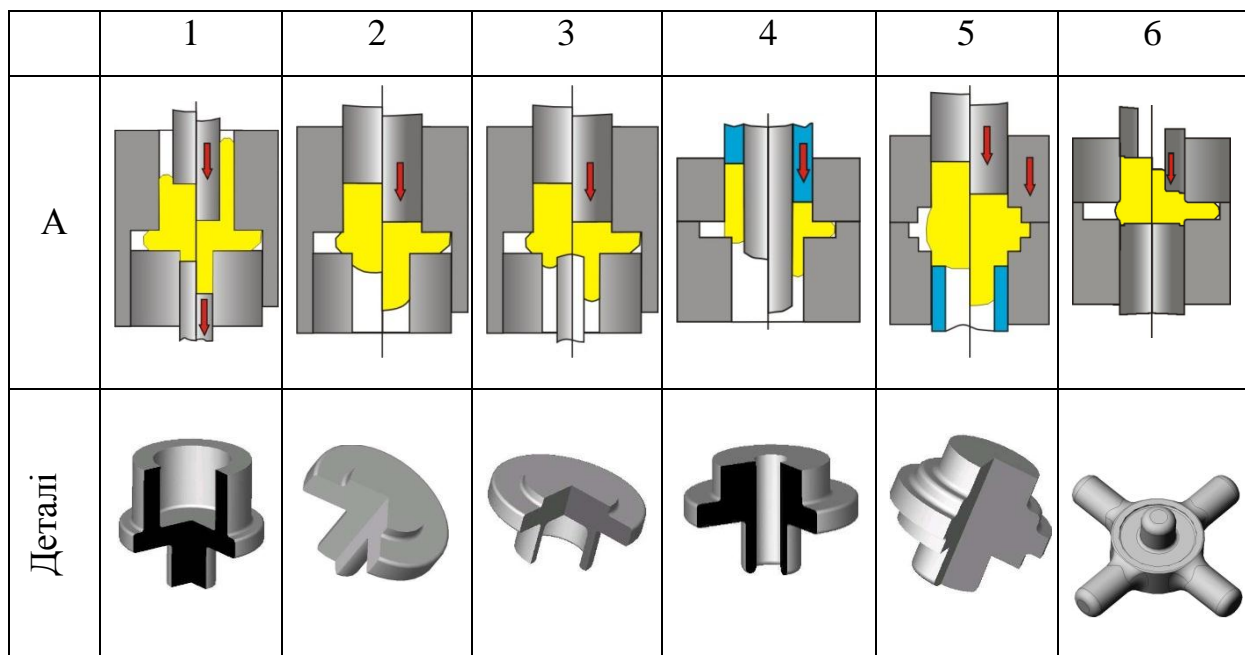


Рис. 2.8. Схеми суміщеного комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання

Способи, які представлені на рис. 2.9, виділені в особливу групу, яку можна назвати поетапними способами комбінованого видавлювання. Їх можна охарактеризувати тим, що крім пуансона в штампі повинна бути ще одна рухома частина, або контрпуансон, або матриця [8]. Реалізація таких поетапних способів радіально-поздовжнього видавлювання вимагає створення пристроїв зі складною кінематикою руху інструментів: складового пуансона, частини якого повинні вимикатися на послідовному етапі штампування, або матриці чи протипуансона, які поетапно рухаються.

Особливість способів послідовного комбінованого видавлювання полягає в тому, що в процесі деформації напрямок течії металу змінюється з радіального (течія з роздачею) на прямий (рис. 2.10). Автори робіт [15, 24] за результатами експериментальних досліджень стверджують, що в разі прямого видавлювання з роздачею (за схемою М. Куногі), сила деформування знижується в порівнянні з поздовжнім видавлюванням на 16–40% (схема 1). Схеми 2–4 (див. рис. 2.10) розташовані в порядку спадання ступеня свободи течії металу.

Найбільшою мірою свободи течії металу і, відповідно, найбільшого зниження сил деформування можна домогтися, якщо розворот течії матеріалу заготовки буде відбуватись відразу ж після виходу металу з об'єму заготовки одночасно з боку бічної поверхні нижньої ділянки заготовки та нижньої торцевої поверхні (схема 2), або з боку нижньої ділянки бічної поверхні. У процесі вільного (без матриці) видавлювання виготовляють глибокі порожнисті судини. При цьому питоме зусилля знижується в 1,5–1,8 рази [54].

Класифікацію способів послідовного радіально-поздовжнього видавлювання, призначених для отримання порожнистих деталей, представлено на рис. 2.10. Можна виділити два основні різновиди цих методів: схеми видавлювання з роздачею металу (рис. 2.10, ряд А) [8, 25, 57, 58] і схеми видавлювання з обтисненням металу при його радіальній течії (рис. 2.10, ряд В) [8, 61].

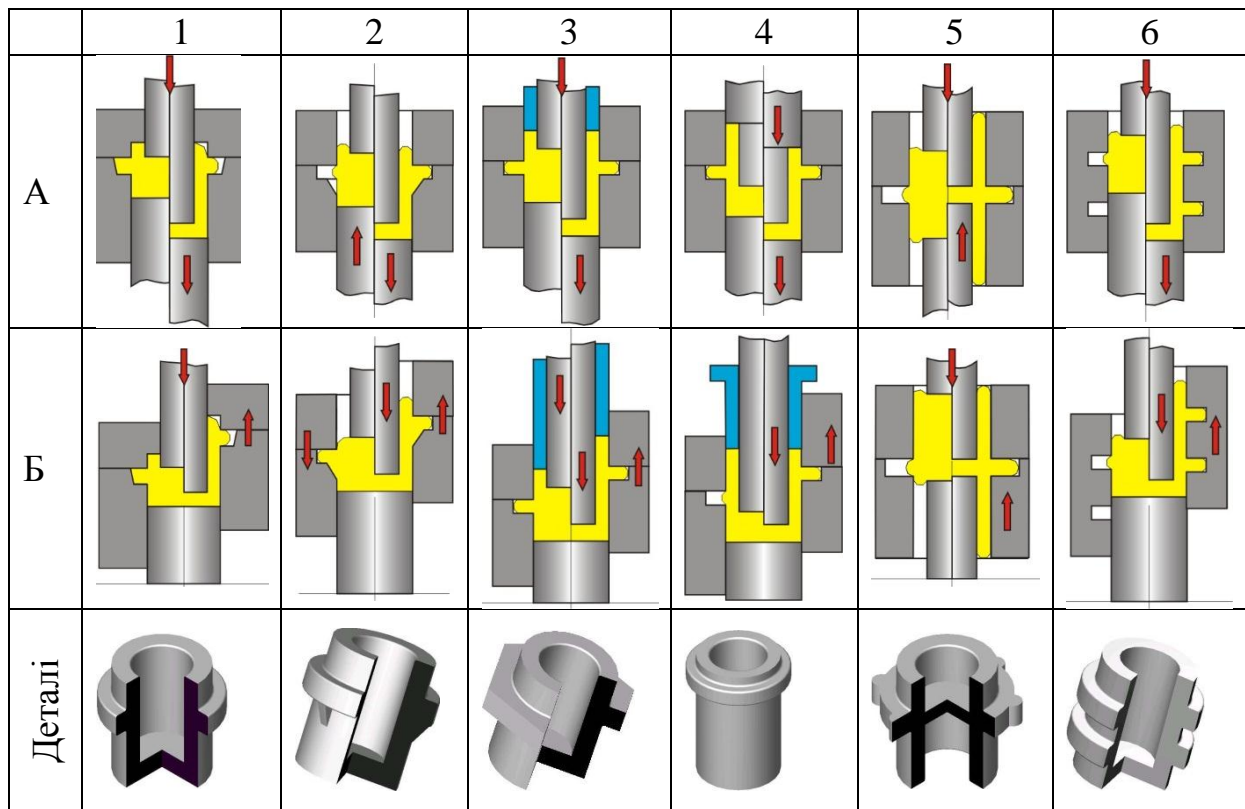


Рис. 2.9. Способи поетапного комбінованого видавлювання

Схеми видавлювання групи А відрізняються послідовним виконанням прийомів радіального і поздовжнього видавлювання. При цьому радіальне видавлювання металу відбувається з роздачею, тобто з течії металу від центру заготовки до периферії. У способах «безматричне видавлювання» видавлювання металу відбувається одночасно через бічну і нижню торцеву поверхні заготовки (А1) або через бічну поверхню заготовки (А2). Ці способи застосовують для виготовлення глибоких порожніх посудин, що значно знижує сили деформування в порівнянні з використанням зворотного видавлювання. Способи видавлювання деталей з суцільної заготовки в результаті розвиненої радіальної течії, яке змінюється по ходу прямою (схема А3) або зворотною течією деформованого металу (схема А4), використовуються відповідно для виготовлення глибоких гільз і стаканів. Процес деформування за схемою радіально-прямого видавлювання з роздачею дозволяє знизити сили деформування за рахунок зменшення площі контакту активного деформуючого інструменту із заготовкою. Разом з тим, це супроводжується помітним зростанням питомих навантажень на інструмент, що обмежує можливості процесу.

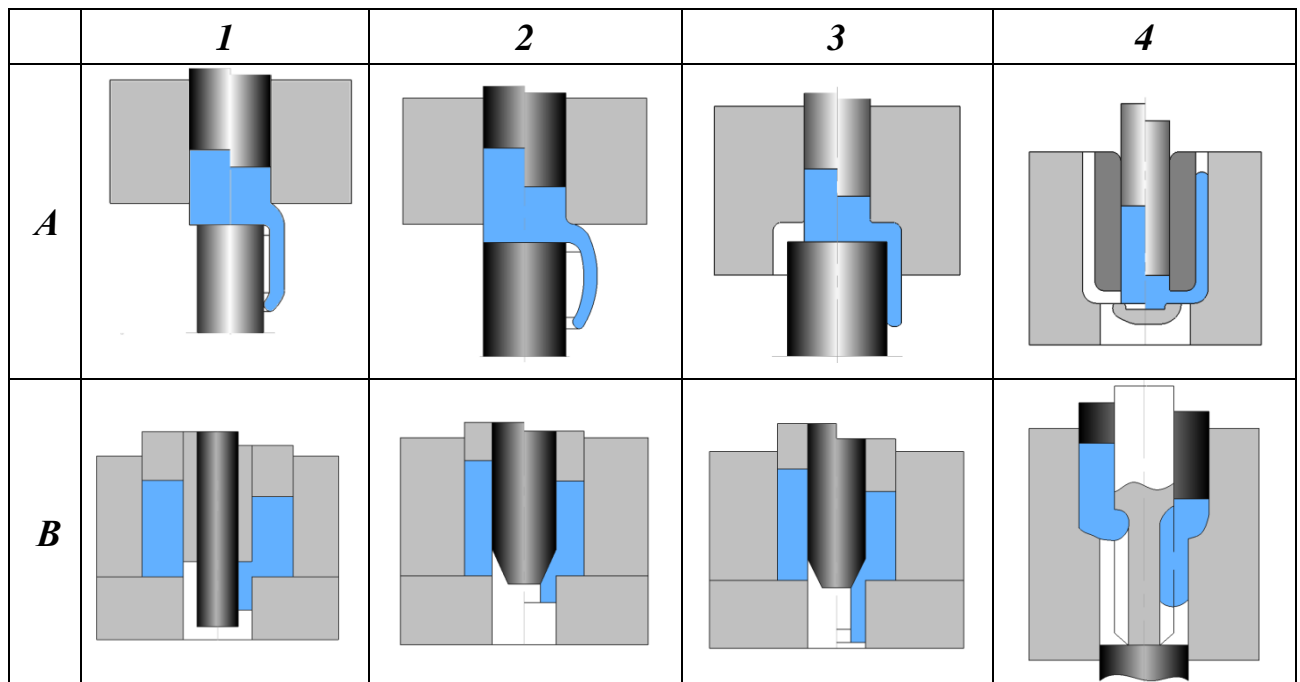


Рис. 2.10. Способи послідовного комбінованого радіально- прямого видавлювання

Способи радіально-прямого видавлювання з групи В відрізняються тим, що в них радіальне видавлювання металу проводиться в напрямку від периферії до центру. Тому їх прийнято називати способами послідовного радіально-прямого видавлювання з обтисненням [8, 61]. Залежно від використовуваного інструменту, способу напрямку металу на етапі прямої течії і, відповідно до ступеня свободи витікання розрізняють кілька схем видавлювання (схеми В1 і В2). Для схеми В3 характерно використання конічного оправлення, здатного до зворотно-поступального переміщення, що необхідне для отримання деталей із змінною товщиною стінки [61]. При профілюванні оправлення (схема В4) можна виготовляти деталі з оребреною внутрішньою поверхнею. За умови постачання оправлення незалежним приводом для поздовжнього переміщення і повороту навколо осі можна отримати деталі з профільованою внутрішньою поверхнею [61] або з багатьма спіральними канавками на внутрішній стінці.

Вільна формозміна в розглянутих вище способах не дозволяє отримати необхідні форму і розміри деталей, тому, як правило, для цих напівфабрикатів далі передбачають калібрування або протягнення на оправці.

Збільшити зовнішній діаметр стакану можна за рахунок напрямку течії металу на початку процесу в радіальну порожнину. Після виходу з неї в зоні розвороту течія матеріалу заготовки буде відбуватись в зворотному або прямому (переважно) напрямку. Процес виготовлення трубних заготовок, гільз за схемою 3 з суцільної заготовки з висотою, яка в кілька разів перевищує діаметр заготовки, дозволяє знизити силу деформування і зменшити різностінність в порівнянні з традиційними схемами пресування [8].

Подальший розвиток способів видавлювання з інтенсивною роздачею призвів до появи послідовного комбінованого радіально-прямого видавлювання – процесу з розвиненою радіальною течією матеріалу, що сприяє помітному збільшенню поперечних розмірів порожнистої деталі (схема 4, рис. 2.10) [8, 25, 56–58]. В процесі деформації течія металу в радіальному центробіжному напрямку в зоні розвороту змінюється на прямий. Вперше ця схема деформування запропонована, напевно, в ЕНІК-МАШі [57].

До обмежень процесу радіально-прямого видавлювання порожнистих виробів в заготовці на стадії радіального видавлювання можна віднести переважні окружні напруження, які розтягують, що знижують пластичність матеріалу заготовки і сприяють появі тріщин на кромці фланця [37]. Тому розгляд закономірностей радіального видавлювання є важливим завданням для оцінки можливості отримання якісних порожнистих деталей радіально-прямим видавлюванням.

Способи комбінованого радіально-прямого видавлювання з обтисненням (схеми В1–В4, рис. 2.10) відрізняються від попередніх тим, що на етапі радіального видавлювання метал тече в напрямку до центру і розвертається в прямий напрямок після зіткнення з профільованою оправкою [61].



### 2.3. Нові способи видавлювання

*Способи видавлювання складнопрофільованих деталей.* Виходячи з отриманої інформації про закономірності формозміни при комбінованій деформації і витісненні розроблені ряд способів, які дозволяють розширити можливості процесів ТОШ за рахунок ускладнення форми деталей, скорочення числа переходів і підвищення якості обробки, реалізувати шляхи деформування матеріалу, що забезпечують мінімальні витрати ресурсу пластичності, зниження нерівномірності деформацій і сили деформування. Ряд способів описані вище при кваліфікуванні технологічних способів видавлювання (див. рис. 2.8–2.10) [8, 37, 56].

У розвиток процесу радіально-прямого видавлювання з роздачею запропоновані деякі нові способи комбінованого видавлювання. Відмінною особливістю нового способу є те, що за цим способом радіус зони розвороту течії з радіальної на пряму витікання є змінним і регульованим в залежності від необхідних діаметральних розмірів сходинок порожнистої деталі (рис. 2.11) [8, 63]. В результаті створюється можливість виготовлення деталей зі складним зовнішнім або внутрішнім профілем зі змінною товщиною стінки.

Дослідження процесу радіально-прямого видавлювання з обтисненням на рухомій конічній оправці і встановлені закономірності дозволили розробити ряд нових способів комбінованого деформування. Одним з них є напівбезперервне видавлювання порожнистих деталей із змінною товщиною стінки (рис. 2.12) [61].

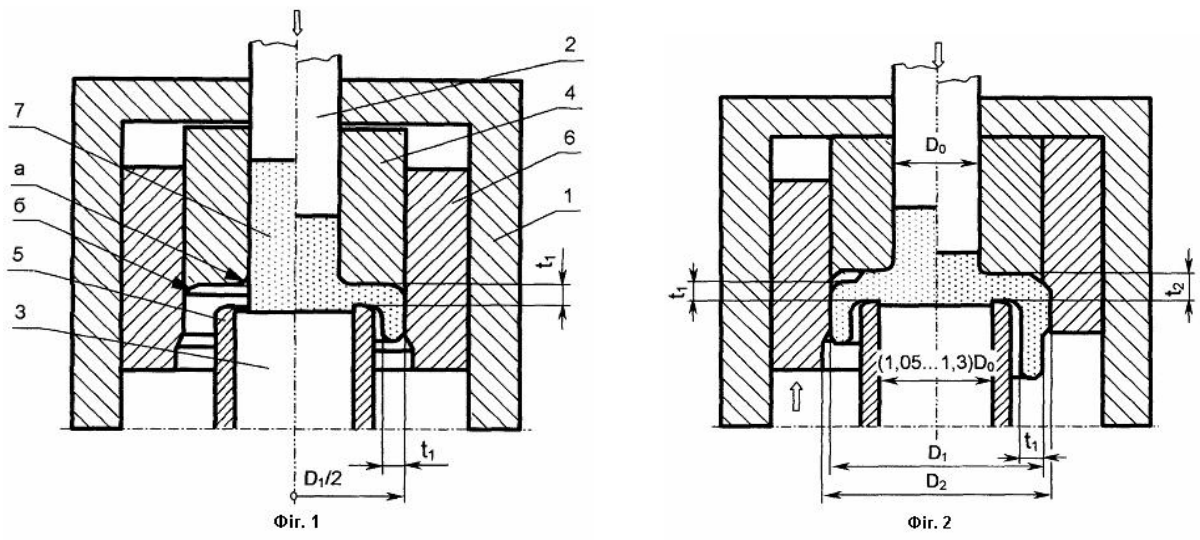


Рис. 2.11. Спосіб комбінованого радіально-прямого видавлювання порожнистих деталей с перемінною товщиною стінки

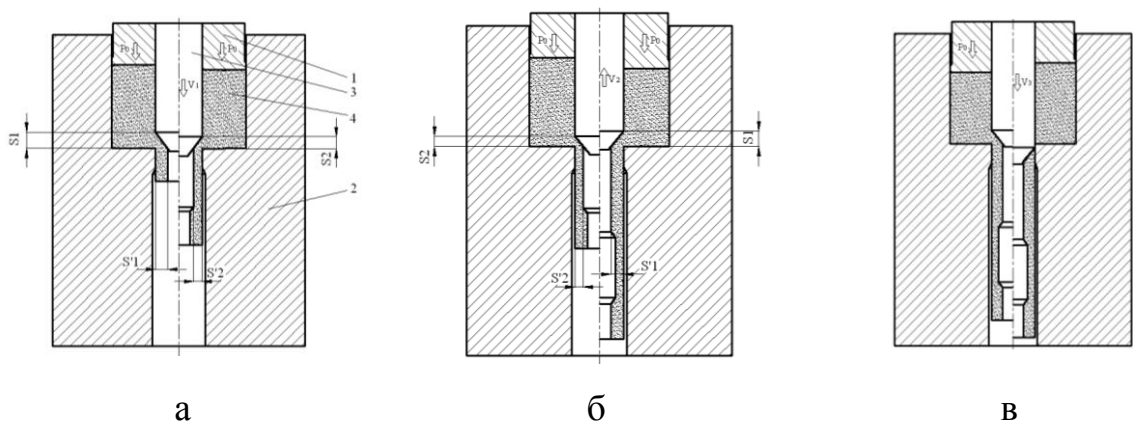


Рис. 2.12. Спосіб комбінованого видавлювання на конічній оправці: радіально-пряме видавлювання (а, б), відрізання готової деталі від багатоштучної заготовки (в)

Даний спосіб реалізується шляхом виготовлення декількох деталей з однієї вихідної багатоштучної заготовки напівбезупинним радіально-прямим видавлюванням в зазор, утворений між оправкою і матрицею. Відділення готової деталі від багатоштучної заготовки здійснюється в зоні зміни напрямку течії металу з радіального на прямий шляхом переміщення оправки відносно матриці у напрямку руху пуансона при видавлюванні. Спосіб дозволяє за рахунок варіювання зазору між

матрицею і оправкою також отримувати деталі типу втулок зі змінною товщиною стінки, яка значно розширює технологічні можливості процесу і номенклатуру штапованих деталей.

Завдання підвищення якості і розширення номенклатури деталей за способом радіально-прямого видавлювання вирішується тим, що спочатку виконується видавлювання напівфабрикату із ступінчастою внутрішньою поверхнею із порожнистої заготовки, та потім отриманий напівфабрикат встановлюється в наступний штамп із роз'ємними уздовж осі симетрії напівфабрикату матриці і виконується протяжка циліндричною оправкою на внутрішній поверхні напівфабрикату (рис. 2.13) [61].

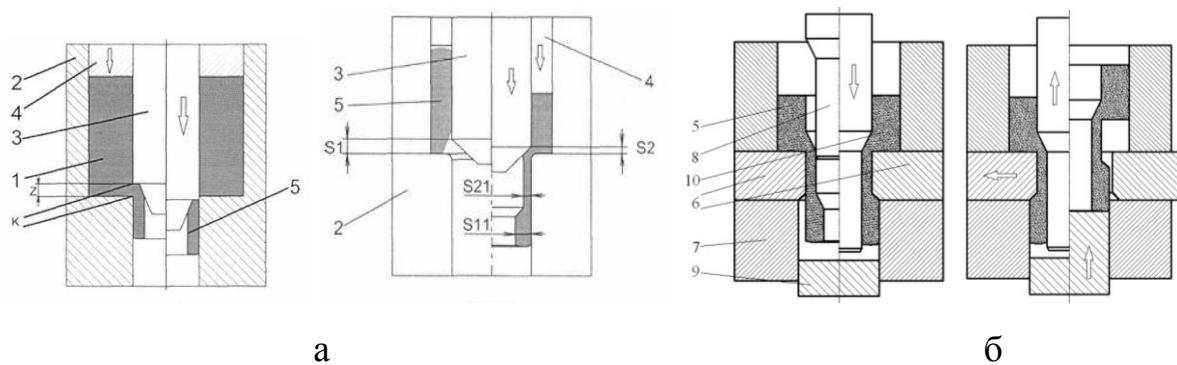


Рис. 2.13. Способи радіально-прямого видавлювання порожнистих деталей з перемінною товщиною стінки: с відрізанням від вихідної заготовки (а) і з протягуванням півфабрикату (б)

Реалізація способу поетапного видавлювання стаканів зі змінною товщиною стінки в новому штампі здійснюється за рахунок того, що пристрій додатково обладнаний проміжною плитою, на якій встановлюється формоутворююча матриця, та приводом для заданого узгодження переміщення матриці. Виконання у вигляді основному двох змонтованих на нерухомій плиті гідроциліндрів, штоки, які з'єднані з проміжною плитою, при цьому порожнина матриці виконано профільованою (рис. 2.14) [64].

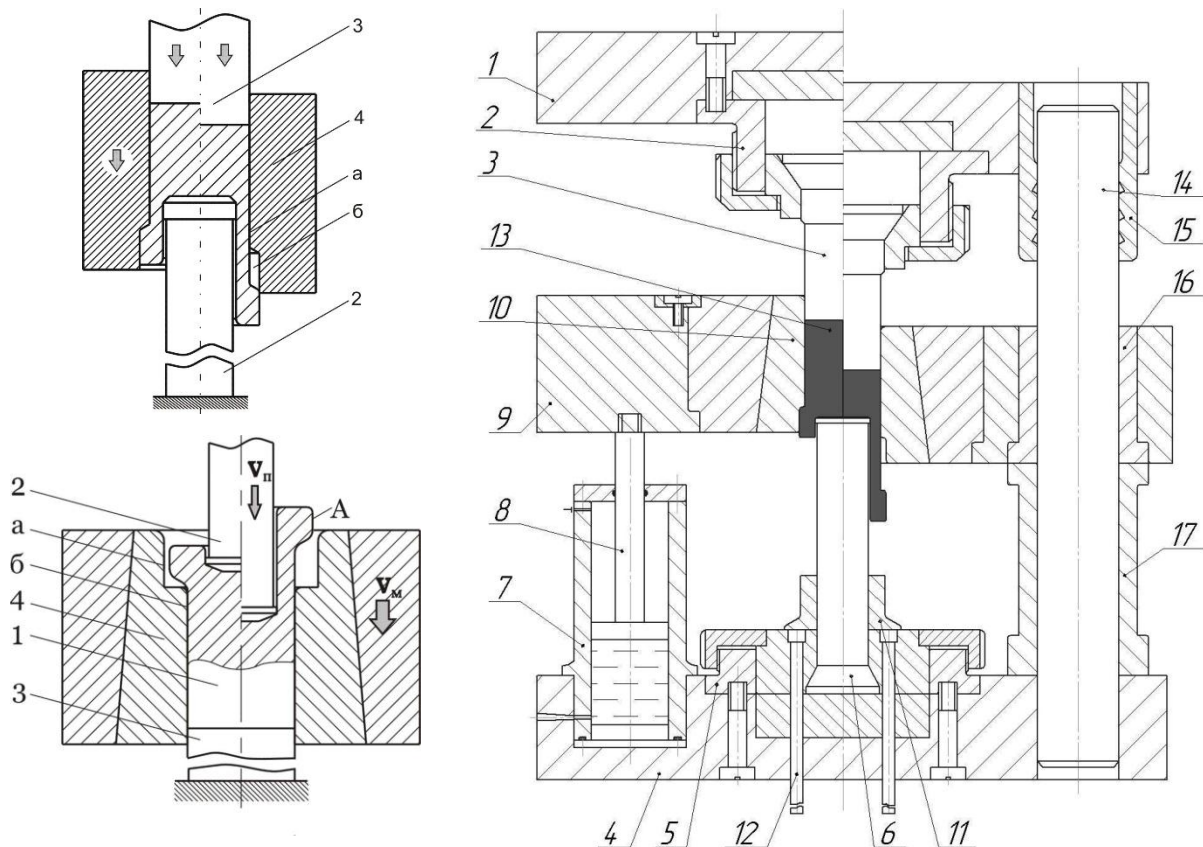


Рис. 2.14. Схема штампа для реалізації способу комбінованого видавлювання порожнистих деталей зі перемінною товщиною стінки

### *Способи видавлювання деталей з керуванням кінематикою течії металу*

Обмеження, властиві відомим способам поперечного видавлювання з односторонньою подачею металу в приймальню порожнину. Усунення нерівномірності деформування можна досягти за рахунок того, що за новим способом процес виконують в дві стадії, при цьому на першій стадії виконують видавлювання з односторонньою подачею за рахунок деформування частини заготовки, розташованої з одного боку від порожнини матриці (рис. 2.15, а). На іншій стадії здійснюють видавлювання з двосторонньою подачею металу частин заготовки, що деформується, розташованих по обидві сторони від порожнини матриці [65].

У тих випадках, коли видавлювання з двосторонньою подачею неможливо здійснити через особливості конструкції деталі, на першій стадії

здійснюється висадка заготовки, а на другій стадії, навпаки, виконують видавлювання з односторонньою подачею в порожнину матриці металу відростка напівфабрикату, що деформується, розташованої зверху від порожнини (рис. 2.15, б) [66].

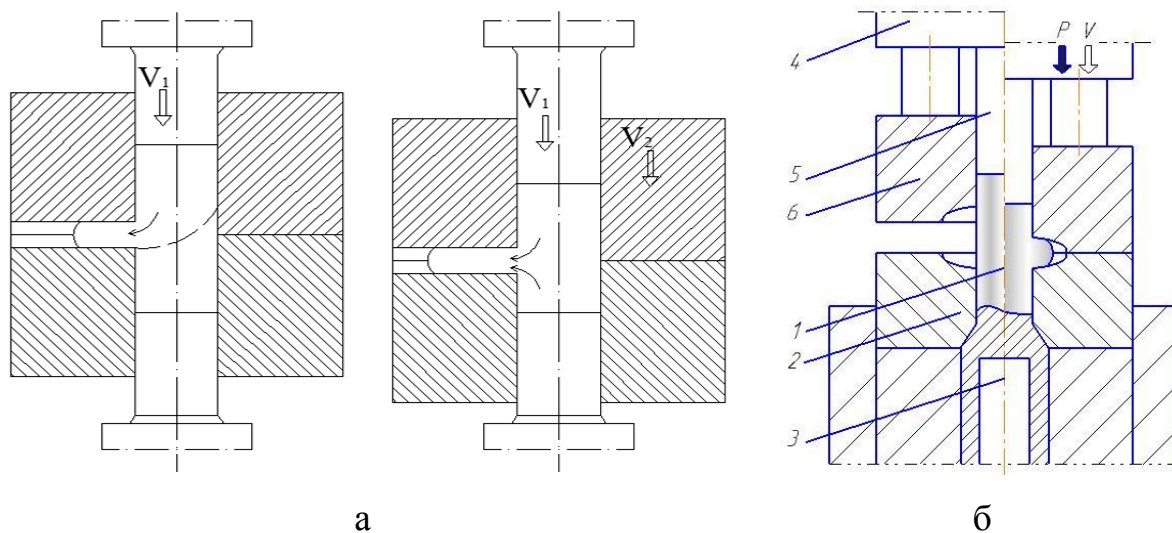


Рис. 2.15. Способи поперечного видавлювання с регульованою подачею металу в порожнину матриці

Комбінування висадки з видавлюванням є суттю нових способів деформування, спрямованих на підвищення об'ємів фланців, що видавлюються, усунення відхилень форми і збільшення граничних діаметрів цих фланців (рис. 2.16) [67], а також підвищення ступеня опрацювання металу по всьому об'єму виробів, що видавлюються (рис. 2.17) [8].

Для зниження або повного усунення такого дефекту, як утягнення на дні стакану, можливе використання сил контактної тертя, зокрема шляхом виконання процесу в режимі реверсивного тертя (рис. 2.18) [8, 53].

Завдання зменшення чи усунення утягнення можна вирішити за рахунок того, що на бічній поверхні в зоні дна стакану (рис. 2.19) [68] або на дні стакану (рис. 2.20) [8] формують зовнішній кільцевий виступ (бурт) шляхом заповнення заглиблення, яке передбачене в матриці або в торці контрпуансона.

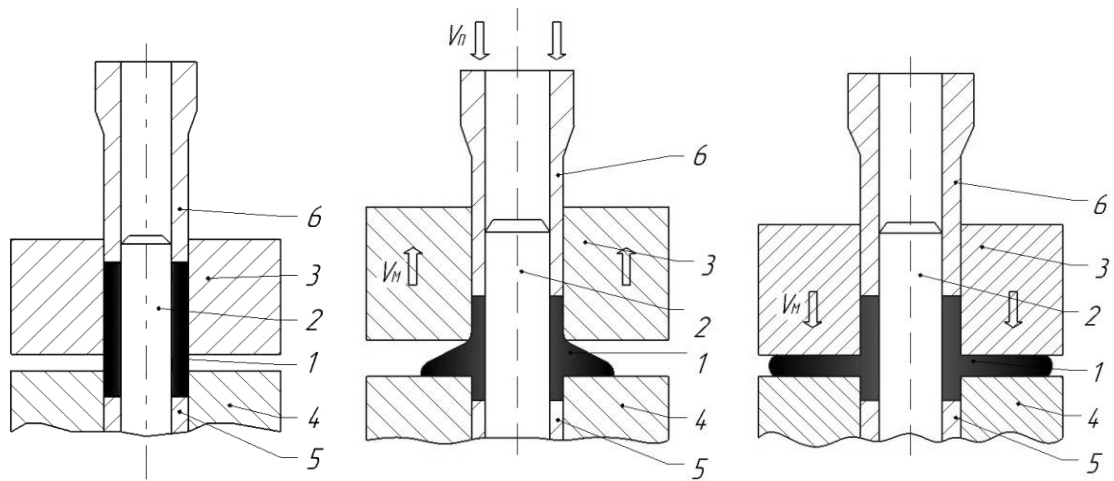


Рис. 2.16. Спосіб комбінування радіального видавлювання с висадкою фланця

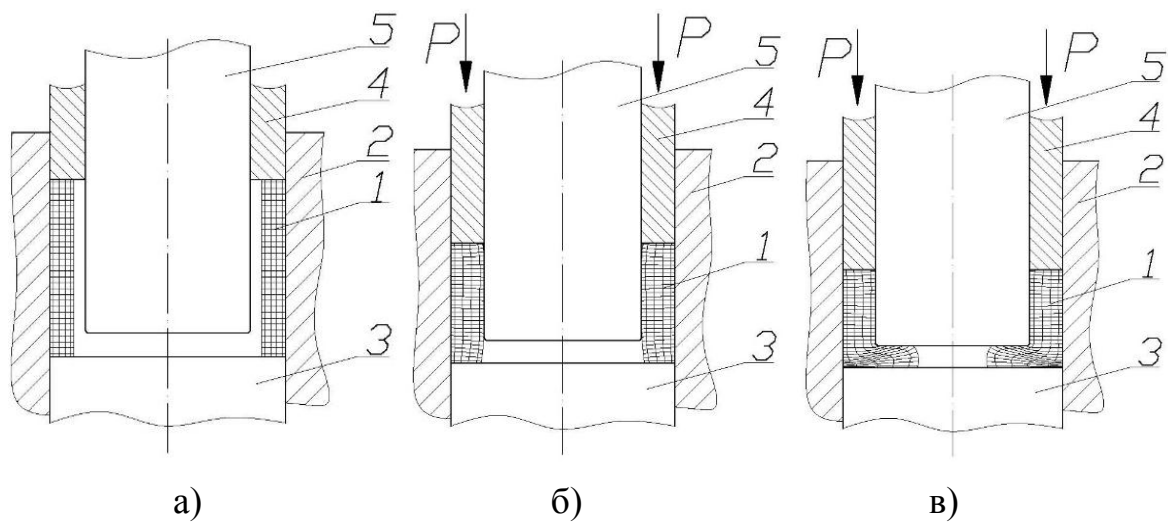


Рис. 2.17. Спосіб комбінування радіального видавлювання с висадкою вихідної заготовки і фланця

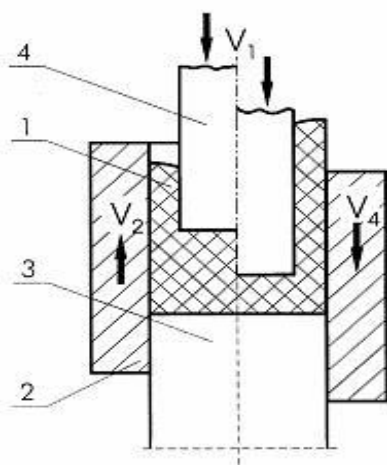


Рис. 2.18. Спосіб видавлювання з реверсивним тертям [8, 53]

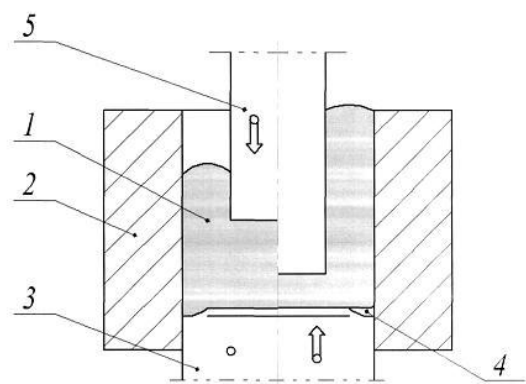


Рис. 2.19. Спосіб попередження утягнень

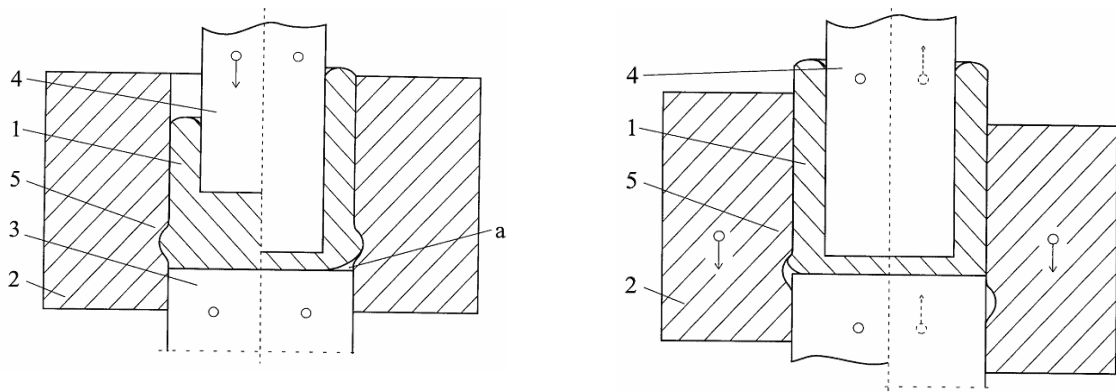


Рис. 2.20. Спосіб усунення утягнення за допомогою технологічного бурта

### ***Способи інтенсифікації пластичного деформування***

Задачею способів інтенсифікації пластичної деформації є розширення технологічних можливостей та покращення якості виробів за рахунок забезпечення проробки металу і зниження нерівномірності деформованого стану. За способом видавлювання порожнистих деталей ця задача вирішується за рахунок того, що деформування відбувається в два етапи таким чином, що на першому етапі одночасно виконують зворотне видавлювання стінки стакану та пряме видавлювання з утворенням технологічного відростку в донній частини стакану, а на другому етапі відбувається витіснення металу з технологічного відростку назад у донну частину стакану (рис. 2.21) [69]. Знакозмінна деформація, якій піддається метал в донній частині напівфабрикату – стакану за рахунок спочатку прямого, а потім зворотного витискування (видавлювання) металу в донну частину, забезпечує добру проробку металу цієї донної зони.

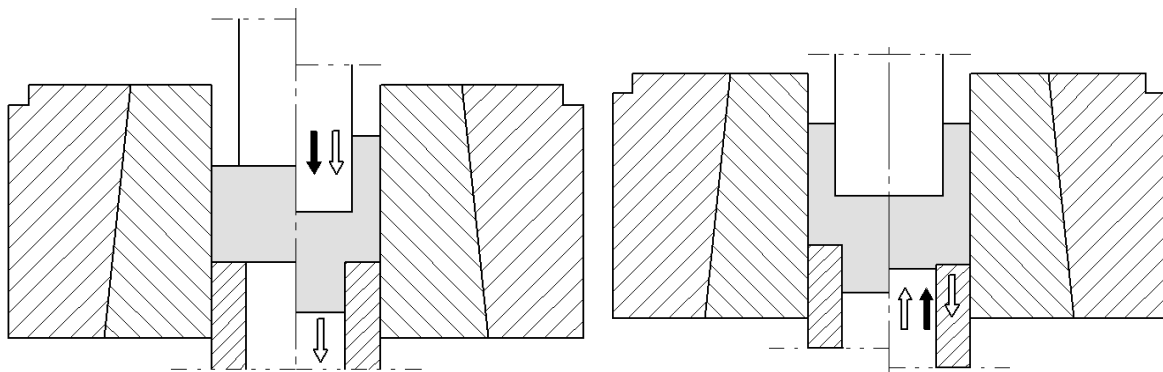


Рис. 2.21. Спосіб зниження нерівномірності пластичного деформування

Для розширення номенклатури заготовок із підвищеними механічними властивостями спочатку отримують порожнисту циліндричну заготовку із підвищеними механічними властивостями циклічним багаторазовим радіально-прямим видавлюванням в зазор, який утворюється між матрицею із конічною ділянкою та ступінчастою конічною оправкою. Після отримання циліндричної заготовки із підвищеними механічними властивостями її розрізають вздовж вісі симетрії та вигинають в полотно (рис. 2.22) [70].

Способи знакозмінного деформування корисні й для виготовлення деталей з фланцем. Спосіб полягає у радіальному видавлюванні металу заготовки в кругову порожнину [8] та відрізняється тим, що заготовка попередньо редукується у нижній (рис. 2.23, а) або верхній напівматриці (рис. 2.23, б). При обтисненні заготовки створюється сприятлива схема напружено-деформованого стану, а саме всебічне стиснення, що підвищує якість поверхневих шарів заготовки і пластичність металу, так як «заліковує» мікротріщини та дефекти поверхневого шару заготовки та сприяє кращій обробці металу у фланці на стадії радіального видавлювання.

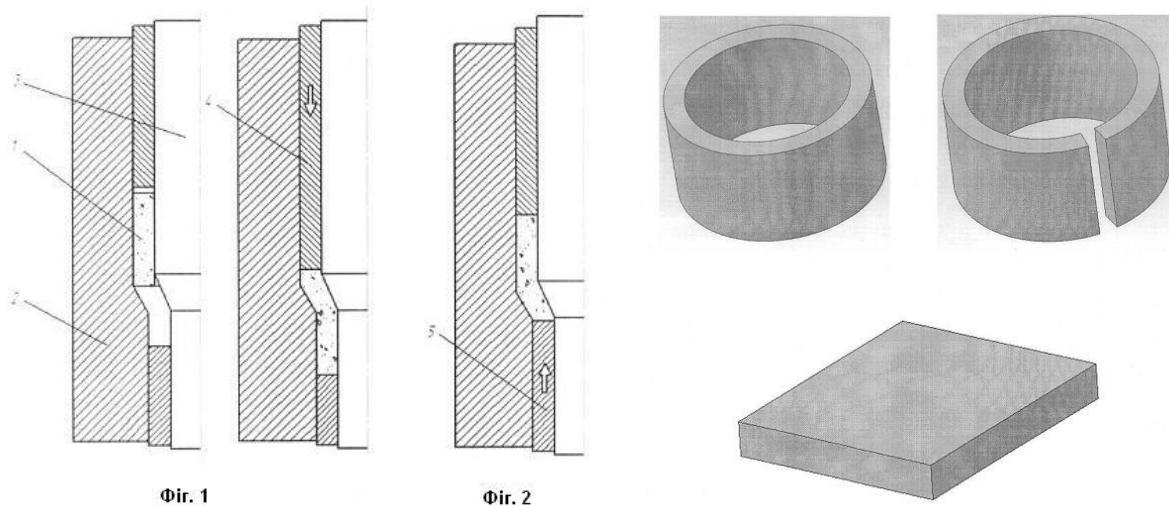


Рис. 2.22. Спосіб інтенсивного пластичного деформування



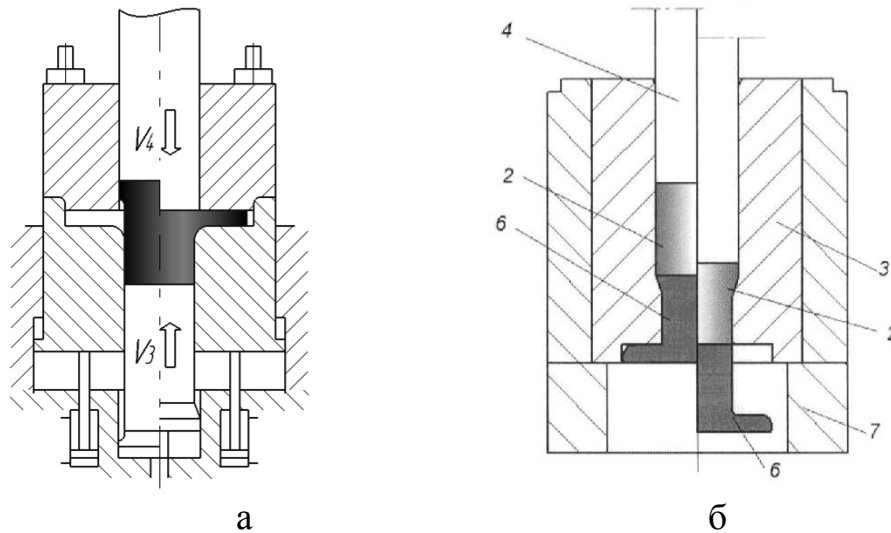


Рис. 2.23. Способи комбінування процесів обтиснення заготовки і радіального видавлювання (способи знакозмінного деформування)

**Способи комбінування процесів видавлювання і поділу деталей**

Раніше були розглянуті способи, за якими комбіноване радіально-пряме видавлювання супроводжувалося відрізанням отриманого напівфабрикату від вихідної багатощучної заготовки в зоні радіальної течії (рис. 2.24, а) [61] або в зоні розвороту течії (див. рис. 2.12). Для отримання деталей типу кільця комбінуванням радіального видавлювання з пробивкою-відділенням кільця від багатощучної вихідної пруткової заготовки розроблений спосіб, наведений на рис. 2.24, б.

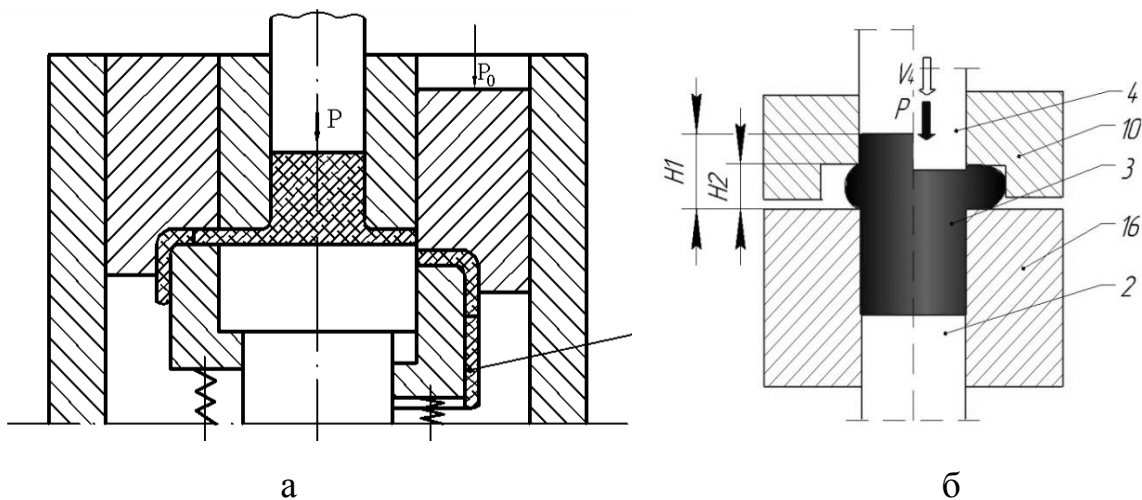


Рис. 2.24. Способи комбінування процесів видавлювання та відділення деталей від вихідних заготовок

Для підвищення якості й розширення типорозмірів заготовок, які виготовляють відрізанням від прутка, при розділенні сортового прокату відбувається попереднє деформування заготовки, що відрізається, яке здійснюється шляхом радіального видавлювання з однією подачею металу в поперечну кругову порожнину. Крім того, для підвищення якості заготовок, що відрізаються після радіального видавлювання, заготовку висаджують (розгладжують торці заготовки) пуансоном втулки. При відрізанні заготовок в такий спосіб осередок деформації при радіальному видавлюванні з однією подачею приймає таку форму, що зміцнений метал концентрується в зоні відрізання, що сприяє поліпшенню якості зрізу при відрізанні (рис. 2.25) [72].

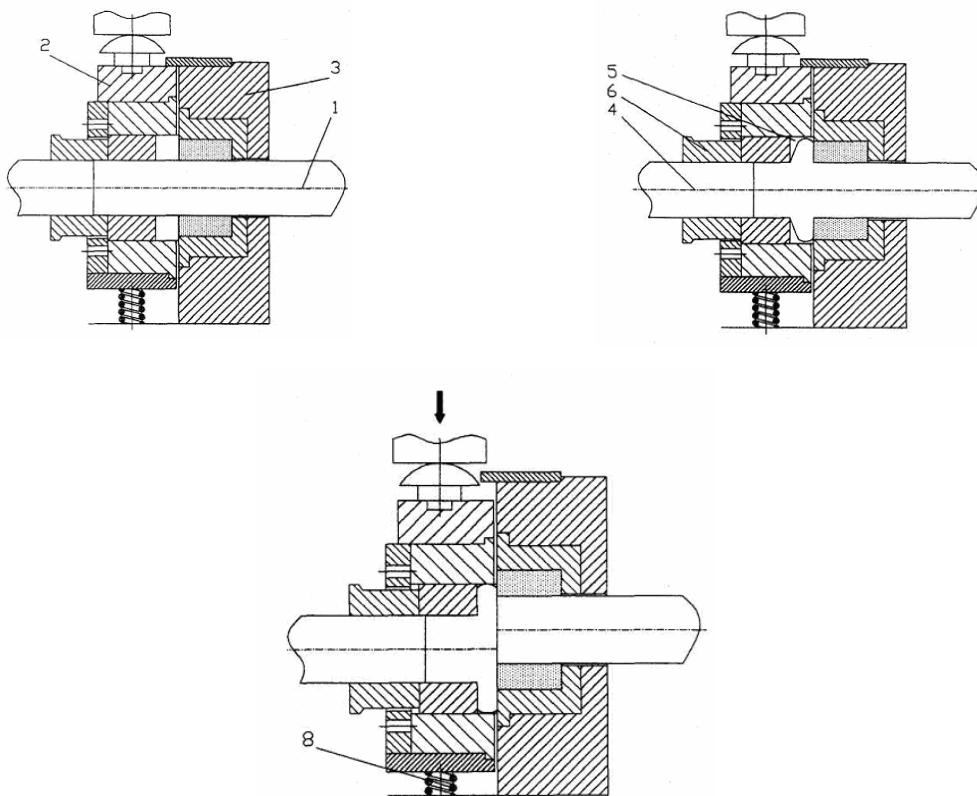


Рис. 2.25. Спосіб комбінованого розподілу пруткового матеріалу

### **3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДАВЛЮВАННЯ**

#### **3.1. Методика проектування технологічних процесів холодного видавлювання**

Технологічні способи точного об'ємного штампування (ТОШ), в тому числі процеси видавлювання, відрізняються різноманіттям можливостей і високою ефективністю в порівнянні з іншими процесами формоутворення деталей.

Сучасні методики проектування технологічних процесів (ТП) базуються на системному (комплексному) підході до вирішення поставлених завдань.

Роботу технолога в умовах експлуатації сучасних методів моделювання і САПР можна представити у вигляді комплексу взаємопов'язаних етапів проектування, які виконуються в певній послідовності незалежно від способу деформування і типорозміру деталі, що штампується.

Науково-методичні засади сучасних методик проектування технологічних процесів (ТП) базуються на концепції групового методу організації виробництва деталей і системному підході до вирішення поставлених завдань [2, 15, 28].

Аналіз і узагальнення досвіду технологічної підготовки, в тому числі і в умовах експлуатації сучасних методів моделювання і САПР, створили можливості для подання роботи технолога у вигляді комплексу взаємопов'язаних етапів проектування, які виконуються в певній послідовності незалежно від способу деформування і типорозміру деталі (заготовки або поковки), що штампується.

Сутність методики стосовно до розробки процесів виготовлення заготовок видавлюванням пояснюється вдосконаленою схемою проектування процесів (рис. 3.1), в основу якої лягли відомі алгоритми розробки технологій штампування [2–6, 8, 33].

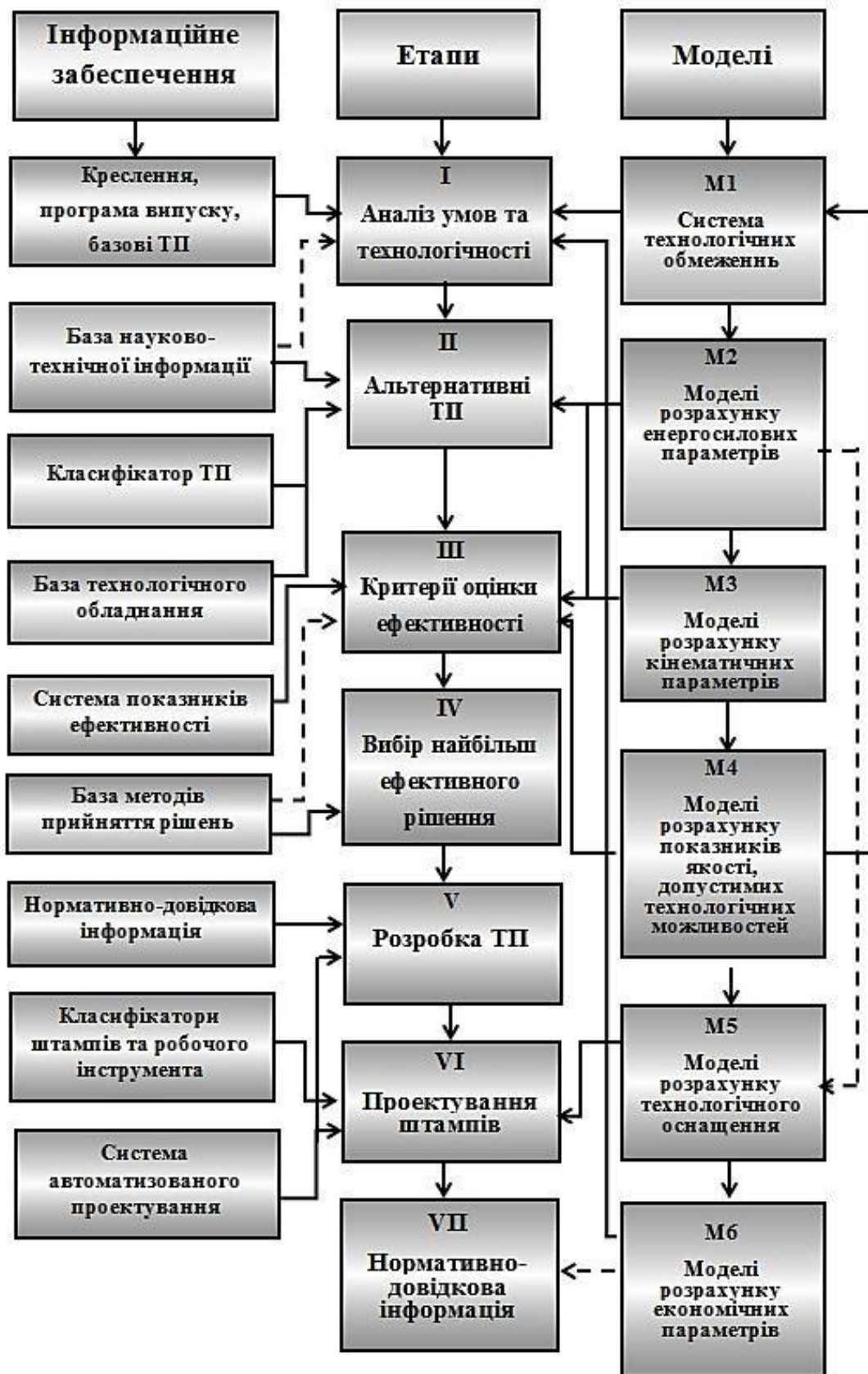


Рис. 3.1. Алгоритм розробки процесів холодного видавлювання

В системі проектування технологій видавлювання можна виділити сім основних етапів проектування, інформаційне забезпечення і систему моделей, необхідних для реалізації цих етапів [2–6, 8].

На першому етапі проектування ТП виконується конструкторсько-технологічна класифікація деталей, аналіз їх технологічності, а також умов виробництва і рівня базових технологій. До складу вихідної інформації, необхідної для класифікації, входять креслення деталей і відомості про програми випуску, базові процеси і склад технологічного обладнання. На цьому етапі необхідно оцінити можливості виготовлення кожної деталі видавлюванням і видалити ті деталі, які видавлюванням неможливо виготовити [2].

Можливість виготовлення деталей способами холодного видавлювання оцінюється за допомогою баз обмежень, що містять спрощені розрахункові співвідношення та рекомендації щодо визначення значень граничних параметрів, які окреслюють область раціонального застосування технологічних способів холодного видавлювання. При цьому для деталей з фланцями до розробки технологічного процесу необхідно встановити можливість отримання цілісного фланця після визначення граничного ступеня деформації. В цьому випадку можна скористатися результатами досліджень, присвячених питанню вичерпання ресурсу пластичності (8, 30, 67). Важливим етапом проектування технологічних процесів видавлювання є також аналіз можливості утворення дефектів в вигляді відхилень форми. Процедура включає необхідність уточнення для заключної стадії процесу на основі моделей характеру зміни параметрів процесу і визначення критичного значення параметрів деталі, що відповідає початку утворення дефектів.

Другий етап – розробка альтернативних варіантів ТП і їх аналіз. До вихідної інформації, необхідної для реалізації цього етапу, відноситься класифікатор технологічних способів, відомості про типові процеси видавлювання, бази характеристик обладнання та штампованих матеріалів.

Для ряду поширених типових операцій і деталей розрахунки силових режимів виконують за відомими аналітичними і статистичними моделями і розрахунковими програмами, в тому числі і з використанням МСЕ.

Третій етап – визначення системи критеріїв для оцінки ефективності альтернативних процесів [2]. Вихідною інформацією для цього етапу є узагальнена система показників ефективності технологій і база методів прийняття рішень [2, 24], а також узагальнені принципи виконання технологій об'ємного штампування [2–6].

Четвертий етап проектування – вибір найбільш ефективного варіанту технологічного процесу; реалізується з використанням встановлених критеріїв оцінки [2, 28].

П'ятий етап – розробка технологічного процесу. Оптимальним вирішенням завдань даного етапу є їх виконання на персональних комп'ютерах в діалоговому режимі. Для проектування технологій і штампового оснащення створені сучасні системи САПР ТП [28], для яких необхідно поповнення інформаційної бази і створення модулів розрахунку, що дозволяють розширити коло проєктованих процесів. Розрахункові моделі і програми, розроблені в ході справжніх досліджень, використані в якості модулів проєктних систем як в ДДМА, так і на підприємствах, де здійснювалася апробація нових технологій і штамсів.

На шостому етапі здійснюється детальна розробка технологічного оснащення. В якості вихідної інформації використовуються класифікатори штамсів і змінних інструментів, в тому числі з роз'ємними матрицями [3–6, 12–14], сучасні комп'ютерні системи проектування штамсів, а також нормативна та методична документація.

Завершальний сьомий етап власне відноситься і складається в необхідному (на нинішньому рівні розвитку і поширення технології холодного видавлювання) дослідно-промисловому відпрацюванню технології, а також випробуванні штампового оснащення і деформуючого інструменту.

В рамках реалізації другого етапу проектування процесів комбінованого видавлювання розроблена база даних в вигляді матриці плоских і віссесиметричних кінематичних модулів – КВПС, що імітують осадження, обтиснення, розворот, розтягнення і затікання в кут. Для вирішення віссесиметричних задач на базі простих полів швидкостей з елементами прямо-

кутної і трикутної форми в ДДМА розроблені кінематичні модулі (елементи) трапецеїдальної і трикутної форми з різним орієнтуванням прямої і криволінійної похиленої границі, що дозволяють описати практично будь-який осередок деформації [8, 15, 16, 21]. Для деталей з фланцем нижче з урахуванням рекомендацій по вибору відповідної розрахункової схеми в залежності від співвідношень геометричних параметрів напівфабрикату, форми інструменту, а також можливого дефектоутворення у вигляді утягнень, представлені відповідні математичні моделі [8, 73].

В загальному вигляді процес визначення оптимального варіанту виготовлення деталі-заготовки не є однозначним. Не кажучи про суміжні методи отримання заготовок, таких як лиття, зварювання, обробка зі зняттям стружки, вибір між самими методами обробки тиском може бути достатньо складним завданням. Тим не менш, вибір варіанту об'ємного деформування в холодному стані може бути обґрунтовано завданням, умовами виробництва, програмою випуску, ресурсами і потрібними характеристиками експлуатації.

А вибір варіанту вже між методами ХОШ теж є задачею, яка потребує аналізу і співставлення показників процесів, їх можливих переваг і недоліків та інших обмежень. Критеріями вибору служать силові параметри, кількість операцій, деформовність металу за схемами.

Наприклад, для деталей типу стакану (втулки) з фланцем (рис. 3.2) можливе декілька альтернативних варіантів штампування, таких як висадка, пряме видавлювання, комбіноване видавлювання, радіальне, обкочування та інші. Варіанти можливого поєднання різних способів виготовлення стакану з фланцем способами поздовжнього і поперечного видавлювання (див. рис. 3.2) розроблені за аналогією з варіантами поздовжнього видавлювання, запропонованими Х. Кудо [8, 15]. Всі варіанти отримання стакану передбачають видавлювання вихідних суцільних заготовок в нерухомій або рухомій матрицях.

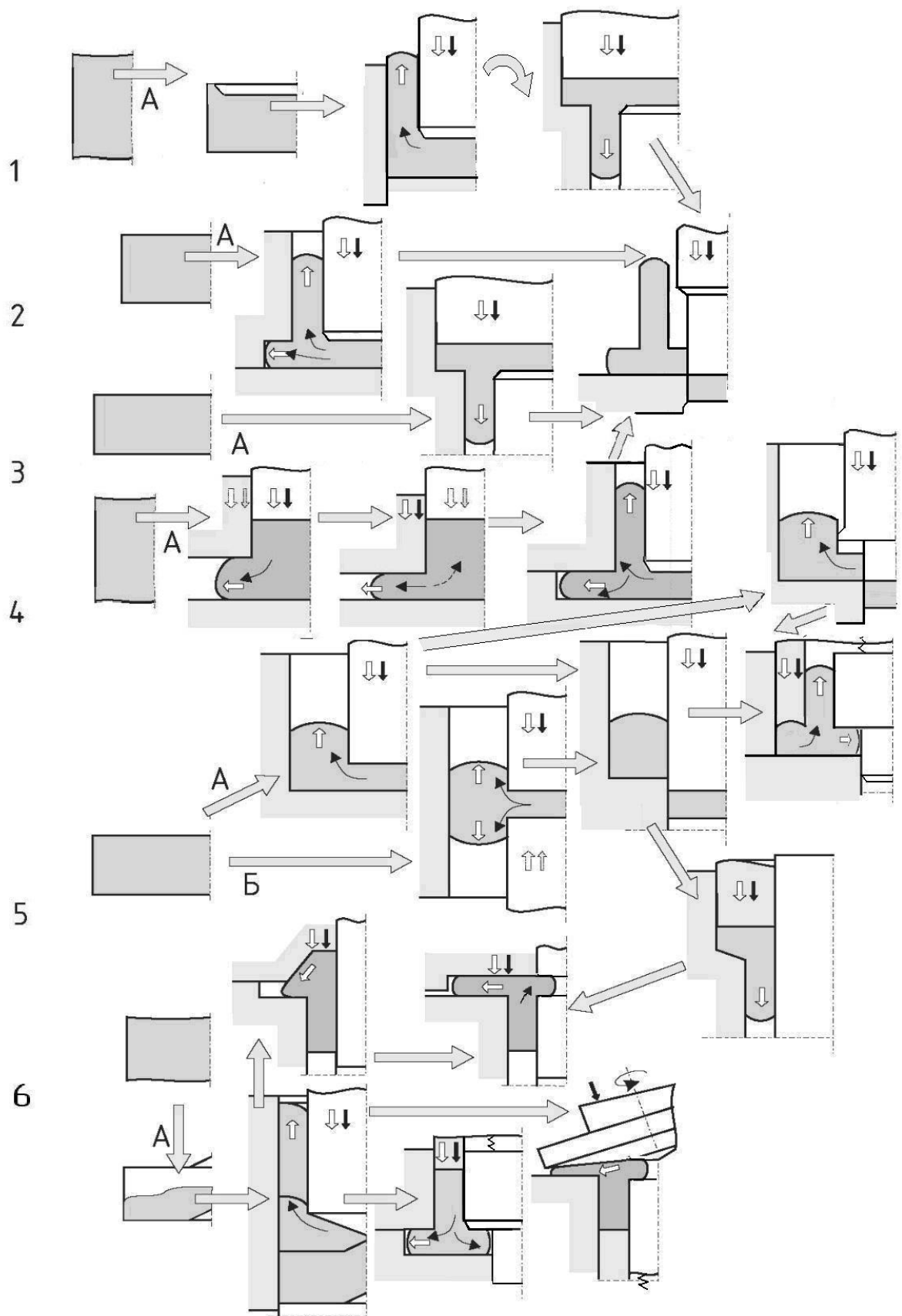


Рис. 3.2. Варіанти видавлювання деталі типу «стакан с фланцем»



Спосіб традиційного зворотного видавлювання (варіант 1) деталей типу стакана вимагає, як правило, підготовки відрізаної від прутка заготовки калібруванням. Отриманий порожнистий напівфабрикат з товстим дном можна перевернути і в штампи для висадки і відформувати фланець необхідних розмірів. Отвір в дні можна пробити на окремій позиції. Обмеження можуть бути пов'язані з нерівномірністю деформування і руйнуванням крайок фланця. При необхідності отримання тонких фланців (товщиною до 5 мм і діаметром 50 мм і більше) доцільно поєднання видавлювання з остаточним формуванням (схеми а і б) на пресах підвищеної жорсткості або на сферорухових установках.

Способи комбінованого радіально-зворотного (варіант 2) і прямого видавлювання на контрпуансоні (варіант 3) займають діаметрально протилежне місце з точки зору потрібних робочих навантажень. Комбіноване радіально-зворотне видавлювання відрізняється меншою енергоємністю процесу. До обмежень можна віднести: недостатню деформовність металу, недостатньо високу якість поверхні торця фланця і бічних поверхонь. При прямому видавлюванні ступінь деформації обмежується високими навантаженнями на інструмент.

При отриманні деталей з масивними фланцями комбінованого видавлювання може передувати радіальне видавлювання (варіант 4), що забезпечує набір необхідного об'єму фланця. Отримання напівфабрикатів у вигляді втулок (варіант 5) видавлюванням стакана і пробиванням дна і подальше видавлювання або висадка фланця дозволить виготовити деталі з отвором в донній частині. Заключна операція висадки сприяє розгонці металу і оформленню фланців із діаметром, що перевищує діаметр стрижня в 3–4 рази.

Інтерес представляє безвідходний спосіб (варіант 6) отримання гладких втулок методом наскрізного прошивання (див. рис. 2.3). З таких напівфабрикатів можна отримати втулки з фланцем на зовнішній або внутрішній поверхні. Особливим методом формоутворення фланців є і спосіб холодного торцевого розкочування фланців [23, 29, 39]. Для отримання масивних фланців рекомендується виконати попередній набір металу під фланець, що дозволяє віднести до перспективних процесів, заснованих на поєднанні видавлювання зі схемою розкочування.

### **3.2. Аналіз технологічності і розробка креслення деталі, яка штампується**

#### *Аналіз технологічності конструкції деталі*

Першою стадією проектування процесів видавлювання є розробка креслення деталі, яку необхідно отримати видавлюванням. Перед розробкою поряд з вивченням умов виробництва і ресурсів необхідно виконати аналіз технологічності конструкції деталі, що потрібно штампувати, за вихідним кресленням.

*Технологічність конструкції* – це сукупність властивостей конструкції виробу, які проявляються в можливості оптимальних (найвигідніших техніко-економічних) витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва і виготовленні виробу.

Аналіз технологічності конструкції деталі, що штампується, необхідно виконати за вихідним кресленням. Як правило, креслення деталей в сучасних умовах передбачає отримання деталі шляхом механічної обробки і виникає необхідність зміни конструкції з метою задоволення вимогам технології холодного видавлювання.

Поняття технологічності конструкції виробу є відносним і його необхідно пов'язувати з методом виготовлення і серійністю виробництва. Технологічність конструкції оцінюється якісно і кількісно. Кількісні методи оцінки технологічності дозволяють оцінити, наскільки один варіант відрізняється від іншого. Ці методи передбачають застосування показників технологічності, таких як трудомісткість виготовлення виробу і матеріаломісткість виробу – показник, що характеризує витрату матеріалу.

Якісна оцінка базується на порівняльному аналізі можливості застосування прогресивних процесів виготовлення при запропонованій і прийнятій конструкції виробу і встановлює лише варіант, який більшою мірою відповідає вимогам технологічного процесу виготовлення. При цьому оці-

нка технологічності конструкції виробу дозволяє визначити елементи конструкції деталі, що вимагають зміни.

Наприклад, креслення втулки (рис. 3.3, а) передбачає отримання деталі шляхом механічної обробки і виникає необхідність зміни конструкції на більш технологічну з точки зору пластичного формоутворення (рис. 3.3, праворуч) з метою задоволення вимогам технології видавлювання.

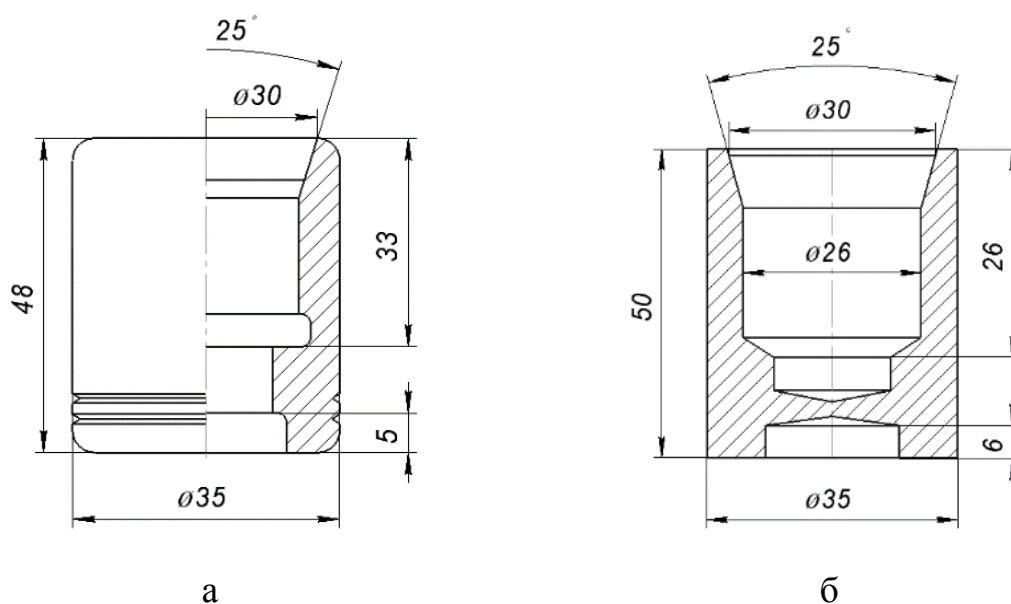


Рис. 3.3. Креслення втулки для обробки різанням і видавлюванням

При конструюванні деталей машин їх конфігурація повинна бути простою, що обумовлює можливість застосування високопродуктивних технологічних методів штампування. Штамповані заготовки взагалі повинні мати просту симетричну форму, без пересічних циліндричних і призматичних елементів, а також бобишок і виступів на основних поверхнях деталі. Видавлюванням неможливо отримати гострі внутрішні елементи, канавки, піднутрення, різьбові поверхні, невеликі (діаметр менш 10 мм) глибокі отвори. Переходи від однієї поверхні до іншої повинні, як правило, здійснюватися з закругленнями, тобто усі гострі переходи повинні бути заокругленні. У тих випадках, коли є різкий перехід обов'язкове викорис-

тання складного інструменту. Ефективно введення необроблюваних поверхонь і елементів деталі, які можуть бути повністю оформлені в штампі; введення радіусів заокруглень, що поліпшують течію металу і сприяють підвищенню стійкості інструменту, заміна форми канавок, рифлень і накаток, технологічних баз і розмірних ланцюгів.

Опрацювання конструкції вимагає тісної співпраці технологів з конструкторами. У багатьох випадках, коли неможливо видавлювати деталь з складнодеформованого металу, заданого кресленням, можна рекомендувати більш пластичну марку сплаву і отримувати деталі необхідної міцності і експлуатаційних властивостей за рахунок зміцнення металу в процесі штампування або за рахунок подальшої хіміко-термічної обробки. Наприклад, замість сталі 45 для накидних гайок можна використовувати сталь 10, не знижуючи при цьому міцності [7]. У більшості випадків точність розмірів (квалітет 12) і шорсткість поверхонь, задана в кресленнях для механічної обробки, цілком досяжна і при холодному видавлюванні. У таких випадках припуски не призначаються.

Припуски і допуски, отримувані при холодному видавлюванні, не регламентовані стандартом і вони встановлюються за погодженням між постачальником і споживачем. Також і операції з доопрацювання штампованих деталей: проточка канавок, торців і фасок, нарізування різьблення, повинні бути узгоджені з отримувачами деталей.

### ***Розробка креслення видавленої деталі***

Креслення видавлених деталей – основний документ, щодо якого ведеться розрахунок розмірів заготовки і переходів, а також конструювання штампів.

Потрібно враховувати те, що було вже відмічено, що креслення деталей розроблені для виготовлення цих виробів методом різання. І це ви-

кликає деякі труднощі. В першу чергу, стосується системи базування розмірних ланцюгів (рис. 3.4).

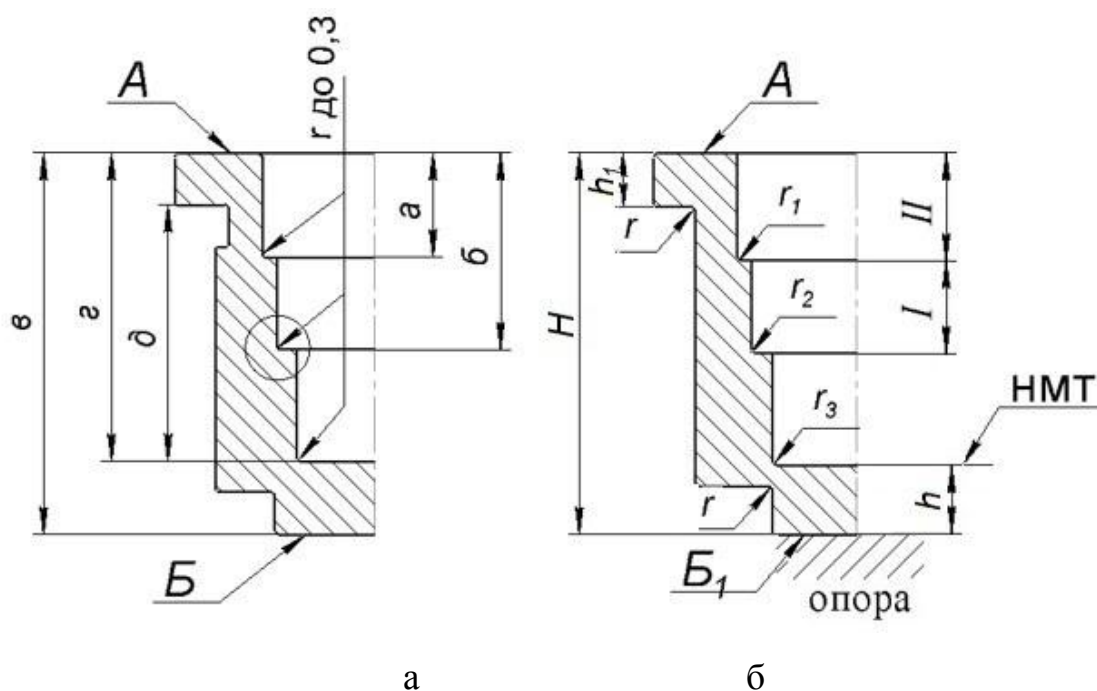


Рис. 3.4. Особливості базування розмірів деталей, що отримані різанням (а) і видавлюванням (б)

За базу при обробці різанням обирається торець А, з якого починається обробка деталі.

При штампуванні видавлюванням тієї ж деталі база визначається положенням опорної частини штампа і нижньої мертвої точки (НМТ) повзуна. За базу для розмірного ланцюга приймають нижній (опорний) торець  $B1$ . Це потребує, щоб товщина дна  $h$  між опорою  $B1$  і НМТ була вказана на кресленні.

Таким чином, повинні бути перераховані розміри із урахуванням нових технологічних баз. При проставленні розмірів деталі, що штампується, ці особливості треба врахувати (рис. 3.5).

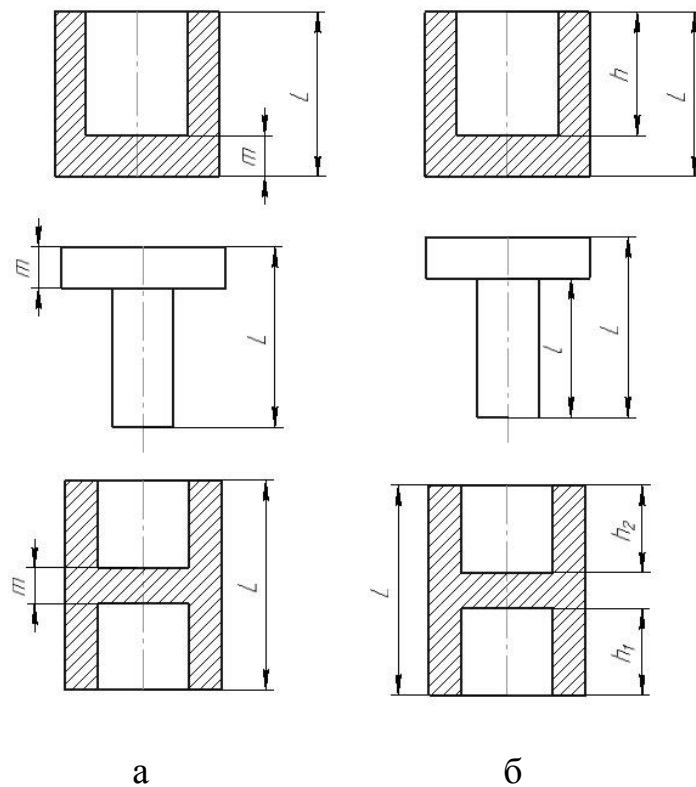


Рис. 3.5. Приклади вірного (а) і помилкового (б) проставлення розмірів деталі

### *Допуски і припуски*

Для розробки креслення призначають допуски, напуски і припуски. Державними стандартами ДСТУ це не передбачено, тому потрібно використовувати такі рекомендації.

На деталях, що штампуються (рис. 3.6) можна виділити розміри 4-х основних видів, які визначаються наступними факторами:

1. Діаметральні (поперечні) розміри, що визначаються розмірами інструменту:  $D$ ,  $d$ .
2. Висотні розміри, що залежать від точності налагодження та вертикальної жорсткістю системи прес-штамп:  $h$ .
3. Висотні розміри, що залежать від точності дозування об'єму заготовки і технології виготовлення деталі:  $L$ .
4. Інші розміри, залежні від характеру деформації: кут  $\alpha$ , розміри  $l$ ,  $h_1$ ,  $D_1$ .

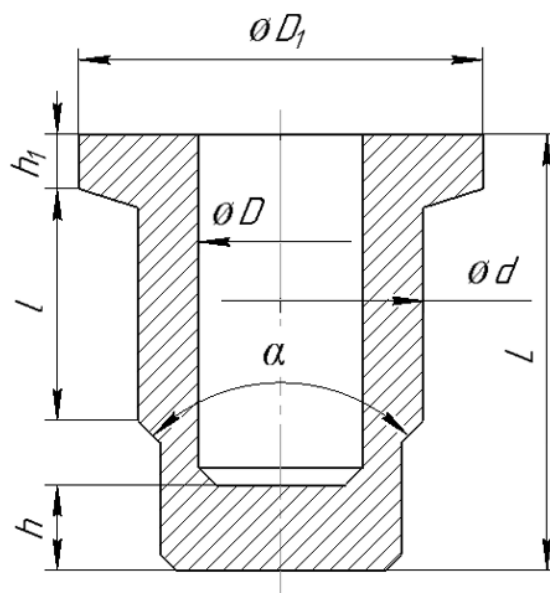


Рис. 3.6. Основні типи розмірів деталі

Діаметральні розміри типу 1 досить стабільні, вони змінюються від пружної деформації інструменту і його зносу. У першому наближенні можна приймати, що ці розміри відповідають точності виготовлення інструменту.

Допуски на діаметральні розміри деталей  $Td$  і  $TD$  визначаються пружною деформацією інструменту (матриці і пуансону)  $\Delta D_y$  і її зносом  $\Delta D_u$  [2, 5, 7]:

$$Td = \Delta D_y + \Delta D_u. \quad (3.1)$$

Пружна деформація матриці залежить від її конструкції, розмірів і питомих навантажень. У першому наближенні для сталевих деталей можна приймати

$$\Delta D_y = (0,003 \dots 0,006) D. \quad (3.2)$$

Для кольорових металів і сплавів значення  $\Delta D_y$  менше в 1,5–2 рази [5].

Пружна деформація пуансона мала, і нею можна знехтувати, тобто для пуансонів  $\Delta D_y = 0$ .

Частина допуску, яка обумовлена зносом інструменту, має лінійну залежність від числа видавлених ним деталей  $N$ :

$$\Delta D_u = kN, \quad (3.3)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від марки та твердості матеріалу та умов деформування.

Для матриць  $k = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-5}$  мм/дет.; для пуансонів  $k = (0,2 \dots 0,4) \cdot 10^{-5}$ . Для міді і сплавів –  $k = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-5}$ , для Al-сплавів –  $k = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-5}$ .

Допуски на зовнішній діаметральний розмір розташовують односторонньо – в сторону збільшення, а на інші розміри – симетрично відносно номінального значення.

Розміри другого типу схильні до ще більших відхилень, вони залежать від розкиду твердості заготовок, умов тертя, що впливає на коливання сил деформування і пружної системи прес-штамп. Допуск на висотні розміри визначається переважно відхиленнями розмірів, викликаними пружною деформацією системи прес-штамп і допуском  $TP$  на значення зусиль видавлювання [2, 5, 7]:

$$Th = TP / C_{n-u} \quad (3.4)$$

При холодному видавлюванні деталей допуск (відхилення) сил деформування можна приймати

$$TP = (0,06 \dots 0,1) P, \quad (3.5)$$

де  $P$  – зусилля видавлювання;

$C_{n-u}$  – жорсткість технологічної системи прес-штамп (кН/мм).

Жорсткість системи – це зусилля (кН), необхідне для деформації преса і штампа на 1 мм. Жорсткість системи

$$C_{n-u} = (0,3 \dots 0,5) C_n,$$



а жорсткість преса  $C_n$  встановлюється за характеристикою пресу [3, 4]. Наприклад, для кривошипне-колінного пресу видавлювання жорсткість в межах між 1600 до 4500 кН/мм (прес моделі К 0030-К 0038).

Відмітимо, що точність штампування на гідравлічних пресах забезпечує кінцевий вимикач (допуск  $T = 0,5$  мм). Тому для підвищення точності необхідні штампи з жорсткими упорами (при наявності на пресі реле тиску).

Розміри 3 типу залежать від допусків на розміри вихідної заготовки (залежать від відхилення його об'єму  $TV$ ). Якщо відомі допуски на розміри другого типу  $Th$ , то допуски на розміри стакану

$$TH = \frac{4TV}{\pi(d^2 - D^2)} + \frac{Th \cdot D}{d^2 - D^2} \quad (3.6)$$

Тут знаки  $TV$  і  $Th$  слід брати однаковими.

Припуски і напуски на розміри деталей, що видавлюються, призначають за погодженням із замовником. Рівень технології видавлювання тим вище, чим менше поверхонь піддають потім обробці різанням. Якщо операції різання необхідні, то припуски можна визначати так.

Односторонній припуск на поперечні розміри орієнтовно можна визначити співвідношенням:

$$P = (0,05 \dots 0,15) \sqrt{D}. \quad (3.7)$$

Приклади креслень деталей (сталевих та із сплавів кольорових металів), які отримані холодним видавлюванням, наведені на рис. 3.7., а розрахункові залежності зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

## Загальна відомість розрахунку допусків

Показник	Формула	Примітка
Допуск на висотні розміри	$Th = TP / C_{n-u}$	
відхилення сили видавлювання	$TP = (0,06...0,1) P$	$P$ – сила видавлювання
жорсткість системи прес-штамп	$C_{n-u} = (0,3...0,5) C_n$	$C_n$ – жорсткість преса
Допуски на зовнішні діаметральні розміри	$Td = \Delta D_y + \Delta D_u$	
від пружної деформації матриці	$\Delta D_y = (0,003...0,006) D$	
від зносу	$\Delta D_u = kN$	$k = (0,5...1,5) \cdot 10^{-5}$ мм/дет
Допуски на внутрішні діаметральні розміри	$TD = \Delta d_y + \Delta d_u$	
від зносу пуансону	$\Delta d_u = kN$	$k = (0,2...0,4) \cdot 10^{-5}$ мм/дет
від пружної деформації пуансона	$\Delta d_y$ компенсуються підсадкою інструменту	
Допуск на вільні висотні розміри	$TH = \frac{4TV}{\pi(d^2 - D^2)} + \frac{Th \cdot D}{d^2 - D^2}$	
Припуски	$\Pi = (0,05...0,15)\sqrt{D}$	
Діаметр вихідної заготовки для видавлювання		
зворотного	$D_{заг} = 1,13\sqrt{V/m}$	$m = 1,5...2,5$
прямого	$D_{заг} = (1,8...2,0) d_c$	
поперечного	$D_{заг} = d_c$	

### Розрахунок розмірів вихідної заготовки

Розрахунок кількості і форми технологічних переходів проводиться на підставі розробленого креслення деталі, що штампується. Спочатку встановлюють розміри і форму вихідної заготовки з умови рівності її об'єму деталі  $V$ , визначеному за середніми технологічними розмірами.

Об'єм деталі розраховується не за номінальними розмірами, а за технологічними, тобто встановленими з додаванням половини відхилення, що обумовлює збільшення об'єму деталі. До розрахункового об'єму деталі рекомендовано додати 1–2% на нерівності, задирки і вигар.

$$V_z = V_{zn} + (0,01...0,02)V_{zn}$$

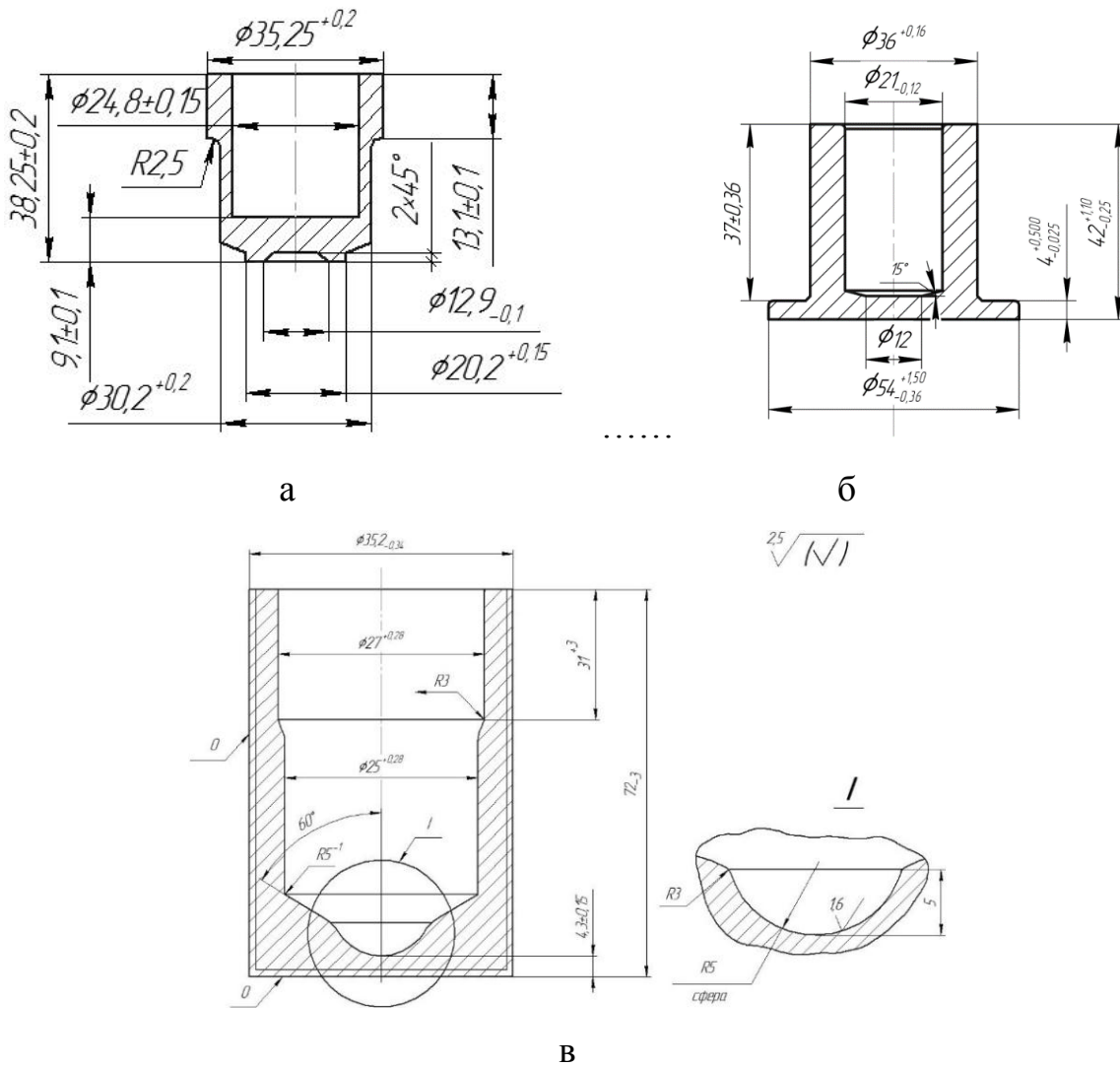


Рис. 3.7. Креслення деталей: корпус (а), стакан (б) і штовхач клапана (б)

Діаметр вихідної заготовки  $d_z$  зазвичай призначають на стадії встановлення способу видавлювання, а форму перетину, відповідну конфігурації перетину напівфабрикату – після першого переходу.

При поперечному (радіальному і боковому) видавлюванні деталей типу стрижня з фланцем діаметр заготовки  $d_z$  приймають рівним діаметру стрижня  $d_c$ .

Для прямого видавлювання подібних деталей можна прийняти:

$$d_z = (1,8 \dots 2,0) d_c.$$

Для прямого видавлювання стрижня з фланцем зі ступенем деформування на першому переході  $\varepsilon$  можна прийняти:

$$d_z = \frac{d_c}{\sqrt{1 - \varepsilon}},$$

для видавлювання деталей типу стаканів  $d_z$  можна приймати рівним діаметру матриці  $D_m$  або (при необхідності калібрування заготовок, отриманих рубкою прутка) визначити з умови:

$$d_z = 1,13\sqrt{V/m}, \quad (3.8)$$

де  $m$  – допоміжний коефіцієнт, що забезпечує стійкість заготовки;  $m = 1,5 \dots 2,5$ .

Розрахунковий розмір діаметру округляється до стандартного – до парного або кратного 5.

Маючи об'єм і діаметр заготовки, легко знайти довжину заготовки.

$$l_z = \frac{4V_z}{\pi d_z^2}.$$

Іноді  $l_z$  визначають з врахуванням відхилень діаметру прутка.

Кількість заготовок із прутка довжиною  $L_n$ :

$$n = \frac{L_n}{l_z + Tl_z}.$$

Норма витрати металу на одну деталь

$$N_d = \frac{G_n}{n}, \quad (3.9)$$

де  $G_n$  – маса прутка, кг.

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_m = \frac{m_d}{N_d}, \quad (3.10)$$

де  $m_d$  – маса (чистова) готової деталі, кг.

### 3.3. Розрахунки силових параметрів деформування

Точне встановлення силового режиму процесів холодного деформування є порукою стабільного протікання процесу, оскільки тиск деформування є важливим критерієм штампованості матеріалів і можливості використання способів холодного видавлювання. Силові параметри (сила і тиск) залежать від ряду факторів, серед яких: схема деформування, властивості матеріалу заготовки, умови тертя, ступені і швидкості деформування, геометричні параметри інструменту і деталі [2–8, 20, 24, 55]. Діаграма «Сила–Шлях» при видавлюванні, як правило, містить 3 характерні стадії, серед яких перша і третя стадії є нестационарними, що обумовлено відповідно розпресуванням і зміненням форми та розмірів осередку деформації. Для другої відносно сталої стадії характерно зростання зусиль: незначне – при зворотному і помітне – при радіальному видавлюванні. А при прямому видавлюванні на цій стадії сили навіть знижуються, що пов'язано зі зменшенням поверхні контактного тертя.

Для визначення силових параметрів пропонуються експериментальні дані, номограми, таблиці і емпіричні формули, які дозволяють встановити силові режими окремих схем деформування або окремих деталей [2–7, 12, 23].

Методи теоретичного аналізу дозволяють отримати розрахункові залежності силових параметрів від технологічних факторів в більш узагальненому вигляді [8, 9, 15–27]. При цьому, в математичних моделях резуль-

тати отримують в більш загальному, критеріальному або безрозмірному вигляді. Силовий параметр, тобто силу  $P$  бажано і зручно представляти у відносному вигляді, тобто у вигляді питомої сили або тиску деформування.

$$p = P/F, \text{ МПа}, \quad (3.11)$$

де  $F$  – площа перерізу деформуючого інструменту (пуансону).

Знаючи питоме зусилля  $p$ , можна розраховувати силові параметри для процесів деформування заготовок будь-яких розмірів. У свою чергу, і тиск деформування зручніше представляти у відносному (безрозмірному) вигляді [1, 15–21]. Для цього тиск представляється, як правило, у вигляді двох множників:

$$p = m \cdot \sigma_s, \text{ або } p = m \cdot 2k \text{ (для плоско-деформованого стану)},$$

де  $m$  – коефіцієнт, що залежить від схеми процесу, геометричних параметрів, ступеня деформації, умов тертя і т.д.

$\sigma_s$  ( $2k$ ) – величина напруження течії, що встановлює характер впливу на силовий режим властивостей деформованого матеріалу. На  $\sigma_s$  впливає швидкісний режим процесу, ступінь деформації (зміцнення), температура деформації і т.д.

Цей коефіцієнт  $m$  власне і є відносним (безрозмірним) питомим зусиллям, або приведеним тиском  $\bar{p}$ . Отже:

$$\bar{p} = m = \frac{p}{\sigma_s} \text{ або } m = \frac{p}{2k} = \bar{p} \quad (3.12)$$

В зворотному порядку, знаючи приведений тиск, легко знайти і параметри – тиск і силу деформування:  $p = \bar{p} \cdot \sigma_s = \bar{p} \cdot 2k$  (МПа);  $P = p \cdot F$  (кН).

Залежності приведених тисків для операцій видавлювання і осадження представимо для варіантів деформування в умовах плоского і осесиметричного стану заготовок. Схеми процесів (табл. 3.2) деформування за основними способами холодного прямого, зворотного і радіального видавлювання містять необхідні позначення для геометричних параметрів деталей, що штампуються.

Схеми процесів видавлювання (до залежностей 3.13–3.15)

Видавлювання		
1-пряме	2-зворотне	3-радіальне

Для прямого видавлювання стрижня діаметром  $d$  із заготовки, діаметром  $D_0(2R_0)$  і висотою  $H_1$  (див. табл. 3.2) з відносним ступенем деформування  $\varepsilon$  приведений тиск  $\bar{p}_f$  деформування дорівнює [3, 4]

$$\bar{p}_f = 1 + \varepsilon + 4\mu_s \frac{H_1}{D_0}, \quad (3.13)$$

де  $\mu_s$  – коефіцієнт тертя (за Зібелем).

Аналогічна залежність запропонована Олениним Л.Д [3, 4]

$$\bar{p}_f = 1 + 2 \ln \frac{D_0}{d} + \frac{H_1 + d}{D_0} + 4\mu_s \quad (3.14)$$

Вираз для розрахунку приведенного тиску плоского прямого видавлювання стрижня шириною  $a$  з заготовки шириною  $B$  [21]:

$$\bar{p}_f = \sqrt{\frac{2 \cdot (B - a)}{a}}. \quad (3.15)$$

Витрати на контактне тертя розраховують доповненням

$$+\Delta \bar{p}_{TP} = 2 \cdot \mu_s \frac{H_1}{B}.$$

Тиск зворотного видавлювання зв'язаний з тиском прямого видавлювання:

$$\bar{q}_b = \bar{p}_f \cdot \frac{B}{B-a} \text{ при } \mu_s = 0. \quad (3.16)$$

При висоті осередку деформування  $\frac{h}{d} \approx \frac{1}{6}$  (див. табл. 3.2) для зворотного видавлювання (закритого прошивання) стакану [3, 16, 24] приведений тиск дорівнює:

$$\bar{p} = 3 + \left(1 + \frac{F}{f}\right) \cdot \ln \frac{F}{f_k}, \quad (3.17)$$

де  $F$  – площа перетину матриці;

$f$  – площа перетину пуансона;  $f_k = F - f$ .

Для зворотного видавлювання стакану (з діаметрами  $R$  і  $r$ ) верхня оцінка приведенного тиску, отримана Торховим А.С. [53] при оптимальній

висоті осередку деформації  $h_0 = 4 \cdot r \cdot \sqrt{\frac{\bar{R}-1}{7}}$ , ( $\bar{R} = R/r$ ) і дорівнює

$$\bar{p} = \frac{\bar{R}}{2} \cdot \sqrt{\frac{7}{\bar{R}-1}}. \quad (3.18)$$

Верхня оцінка тисків плоского осадження наведена в табл. 3.3.

Формули для приведенного тиску плоского осадження заготовок, отримані методом верхньої оцінки [9, 21, 53], використані для розрахунку тисків при поперечному видавлюванні відростків діаметром  $d$  і фланців товщиною  $h$  і діаметром  $D_1$  ( $2R_1$ ) на стрижневих заготовках діаметром  $2R_0$ .

Приведений тиск  $\bar{p}$  симетричного поперечного бокового видавлювання двох плоских відростків товщиною  $h$ :

$$\bar{p} = \frac{R_0}{h} + \frac{h}{4 \cdot R_0}. \quad (3.19)$$

Ця формула добре узгоджується з експериментальними даними при  $\frac{h_\phi}{R_0} > 0,6$ . Її можна використовувати і для розрахунку приведенного тиску

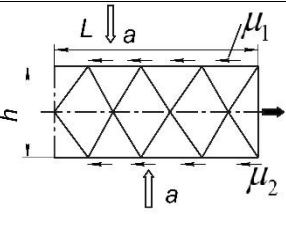
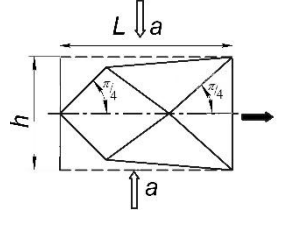
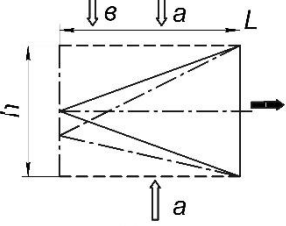
бокового видавлювання циліндричних відростків діаметром  $d$ :



$$\bar{p} = 2 \cdot \left( \frac{R_0}{d} \right)^2 + \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{d}{R_0} \right)^2; \quad (3.20)$$

Таблиця 3.3

Формули для приведенного тиску плоского осадження заготовок

№	Схема	Сила	Формула тиску	Параметр
1		а	$\bar{P} = 1 + \frac{\mu_1}{4} \left( \frac{2L}{h} - \frac{h}{2L} \right) + \frac{\mu_2}{4} \left( \frac{2L}{h} - \frac{h}{2L} \right) \frac{h}{L} \leq 0,6$	$\frac{h}{L} \leq 0,6$
2		а	$\bar{P} = \frac{L}{h} + \frac{h}{4L}$	$\frac{h}{L} > 0,6$
3		в	$\bar{P} = \frac{L}{h} + \frac{7}{16} \frac{h}{L}$	

Додаткові витрати на подолання сил тертя можна врахувати доданням доданка

$$+\Delta \bar{p}_{TP} = 2 \cdot \mu_s \frac{H_1}{R_0}. \quad (3.21)$$

де  $H_1$  – висота частини заготовки, яка ковзає по поверхні порожнини матриці.

При  $\frac{h}{R_0} < 0,3$  слід використовувати моделі плоского осадження тонкої смуги при максимальному терті  $\mu_s = 0,5$  (див. табл. 3.3, рядок 1)

Для бокового видавлювання одного відростка (див. табл. 3.3, рядок 3) товщиною  $h$  приведенний тиск:

$$\bar{p} = \frac{2R_0}{h} + \frac{7}{16} \cdot \frac{h}{2R_0} + \mu_s \cdot \frac{2 \cdot H_1}{R_0} \quad (3.22)$$

Формулу для приведенного тиску радіального видавлювання фланців товщиною  $h$  і радіусом  $R_1$  в середній частині циліндричної заготовки з радіусом  $R_0$  отримано енергетичним методом [8, 18]:

$$\bar{p} = 1 + \beta \cdot \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{h}{\sqrt{3} \cdot R_0} + \beta \cdot \frac{R_0}{3 \cdot h} + \beta \cdot \mu_s \cdot \frac{2 \cdot H_1}{R_0} + \beta \cdot \mu_s \cdot \frac{(R_1 - R_0)}{h}. \quad (3.23)$$

і методом верхньої оцінки:

$$\bar{p} = 1 + \ln \frac{R_1}{R_0} - \frac{h}{8 \cdot R_0} + \frac{R_0}{2 \cdot h} + \mu_s \cdot \frac{2 \cdot H_1}{R_0} \quad (3.23a)$$

Модель, яка отримана енергетичним методом, добре працює при  $\frac{h}{R_0} < 0,6$ . Вираз можна використовувати і для визначення тиску деформування деталей з фланцем, розташованим на торці стрижневої деталі:

$$\bar{p} = 1 + \beta \cdot \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{h}{\sqrt{3} \cdot R_0} + \mu_s \cdot \frac{R_0}{3 \cdot h} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_0}{3 \cdot h} + \mu_s \cdot \frac{2 \cdot H_1}{R_0} + \mu_s \cdot \frac{(R_1 - R_0)}{h}. \quad (3.23b)$$

Для допоміжних операцій осадки циліндричних, прямокутних заготовок і фланців на основі залежностей для плоского і осесиметричного деформування отримаємо формули для приведенного (безрозмірного) тиску [2–6, 18, 24].

Приведений тиск відкритого осадження циліндричної заготовки діаметром  $2R_0$ :

$$\bar{p} = 1 + \beta \cdot \mu_s \cdot \frac{2 \cdot R_0}{3 \cdot h}, \quad (\text{параметр } \beta = \frac{2}{\sqrt{3}}). \quad (3.24)$$

Приведений тиск закритого осадження циліндричної заготовки:

$$\bar{p} = 1,3(1 + \beta \cdot \mu_s \cdot \frac{2 \cdot R_0}{3 \cdot h}) \quad (3.25)$$

Приведений тиск висадки фланця на торці стакану:

$$\bar{p} = \gamma \left( 1 + \mu_s \cdot \frac{D^2 - d^2}{3 \cdot Dh} \right), \quad (3.26)$$

де  $\gamma = 1,1 \dots 1,25$ .

Приведений тиск деформування при плоскому осадженні низьких заготовок:

$$\bar{p} = 1 + \mu_s \cdot \frac{B}{2 \cdot h} \quad (3.27)$$

Приведений тиск при осадженні прямокутної заготовки:

$$\bar{p} = 1 + \mu_s \cdot \frac{b-a}{2 \cdot b} - \frac{a}{h} \quad (3.28)$$

### ***Врахування деформаційного зміцнення металу заготовки.***

Процедура врахування деформаційного зміцнення матеріалу заготовки при холодному штампуванні потребує визнання спочатку ступеня деформації за даний перехід і сумарно за всі переходи до операції, що розглядається. Для визначення ступеня формозмінення використовуються різні показники (табл. 3.4).

Перевагою ступеня логарифмічної деформації є те, що його значення за декілька послідовних переходів штампування може бути підсумовано. Ця властивість логарифмічної деформації має назву ***адитивність***.

За середню ступінь деформації або за середньо інтегральний показник ступеня формозмінення за  $P$ . Хілом можна прийняти величину приведенного тиску деформування даного об'єму металу [15, 21].

$$e_c = \frac{P}{\sigma_s} = \bar{p}; \quad (3.29)$$

Характеристика ступенів деформування

Назва	Формула	Зв'язок
Коефіцієнт витягування	$q = \frac{F}{f} = \frac{H}{h}$	$q = \frac{1}{\lambda}$
Коефіцієнт обтиснення	$\lambda = \frac{f}{F} = \frac{h}{H}$	$\lambda = \frac{1}{q}$
Ступінь деформації відносного обтиснення	$\varepsilon = \frac{F - f}{F} = \frac{H - h}{H};$	$\varepsilon = 1 - \lambda;$
Ступінь деформації відносного подовження	$\delta = \frac{L - l}{l};$	$\delta = q - 1;$
Ступінь логарифмічної деформації	$e = \ln \frac{F}{f} = \ln \frac{H}{h}$	$e = \ln q = \ln \frac{1}{1 - \varepsilon} = \ln(1 + \delta)$

Таким чином, процедура врахування зміцнення містить знаходження ступеня деформації  $e$  (наприклад за приведеним тиском  $\bar{p}$ ), потім – напруження текучості за діаграмами напружень (рис. 3.19 і табл. 3.5) і тиском деформування  $p$  в МПа:

$$\sigma_s = f(e_c); \quad \sigma_s = f(\bar{p});$$

$$\text{Тиск видавлювання: } p = \bar{p} \cdot \sigma_s \text{ [МПа]; або } p_{\text{упр}} = C \cdot (\bar{p})^{n+1}$$

де  $C$  і  $n$  – коефіцієнти ступеневої залежності для кривої зміцнення (табл. 3.5)

## Залежності істинних напружень течії від ступеня деформації

Матеріал	Вид апроксимуючої залежності	
	$\sigma_s = C \cdot e^n$ , МПа	
	C	n
Сталь 10	787	0.224
АМг6	542	0.285
МЗ	409.6	0.21
АД31	247	0.136
АД1	142	0.247
Армко	631	0.217
АМцМ	220	0.11
АД33М	249	0.158
М1	383.8	0.245

Сила видавлювання на даній операції:  $P = p \cdot F$  [кН];

Бажано перевірити розрахункове значення тиску с дозволеним граничним значенням тиску холодного деформування  $p \leq [p] = 2200$  МПа.

Слід зазначити, що за (3.19) отримують завищені значення розрахункових силових параметрів. Усереднене значення можна встановити за залежністю:

$$(\sigma_s)_c = \frac{C \cdot e_n}{1+n}. \quad (3.30)$$

Для експериментального дослідження технологічних режимів видавлювання і деформівності сплавів були використані зразки з алюмінієвих сплавів – АД1, АД31, АМцМ, сталі 10, латуні – Л63, міді – М1, М2 і свинцю С1. Діаграми зміцнення використаних матеріалів, побудовані випробуванням на стиснення, наведені на рис. 3.8, а апроксимуючі їх залежності приведені в табл. 3.5.

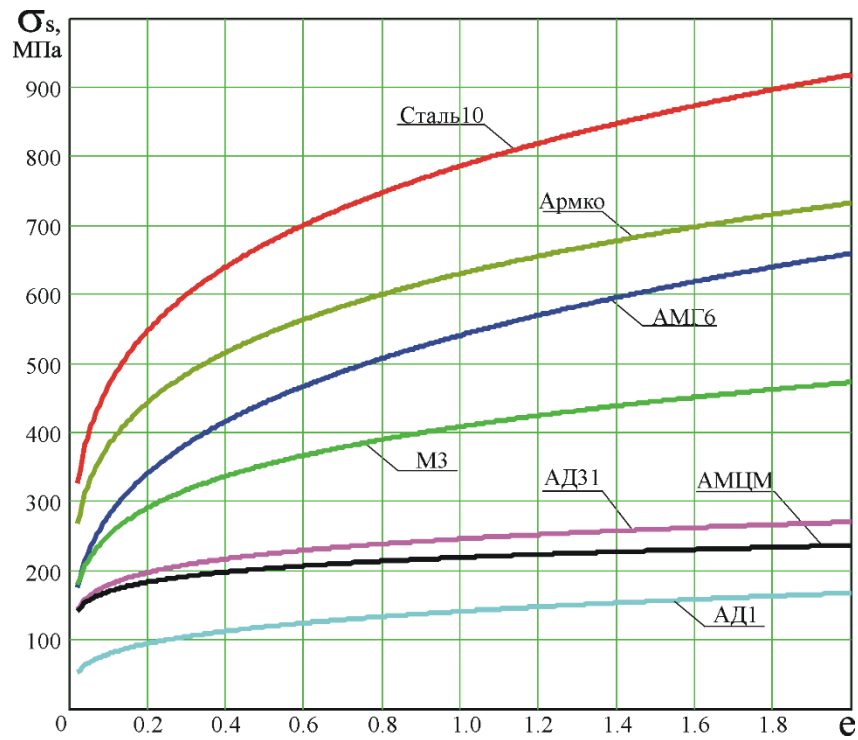


Рис. 3.8. Діаграми істинних напружень для матеріалів

Графіки тарування залежності твердості холоднодеформованих зразків від ступеня деформації і напружень текучості, отримані шляхом стиснення циліндричних зразків з торцевими виточками, приведені на рис. 3.9.

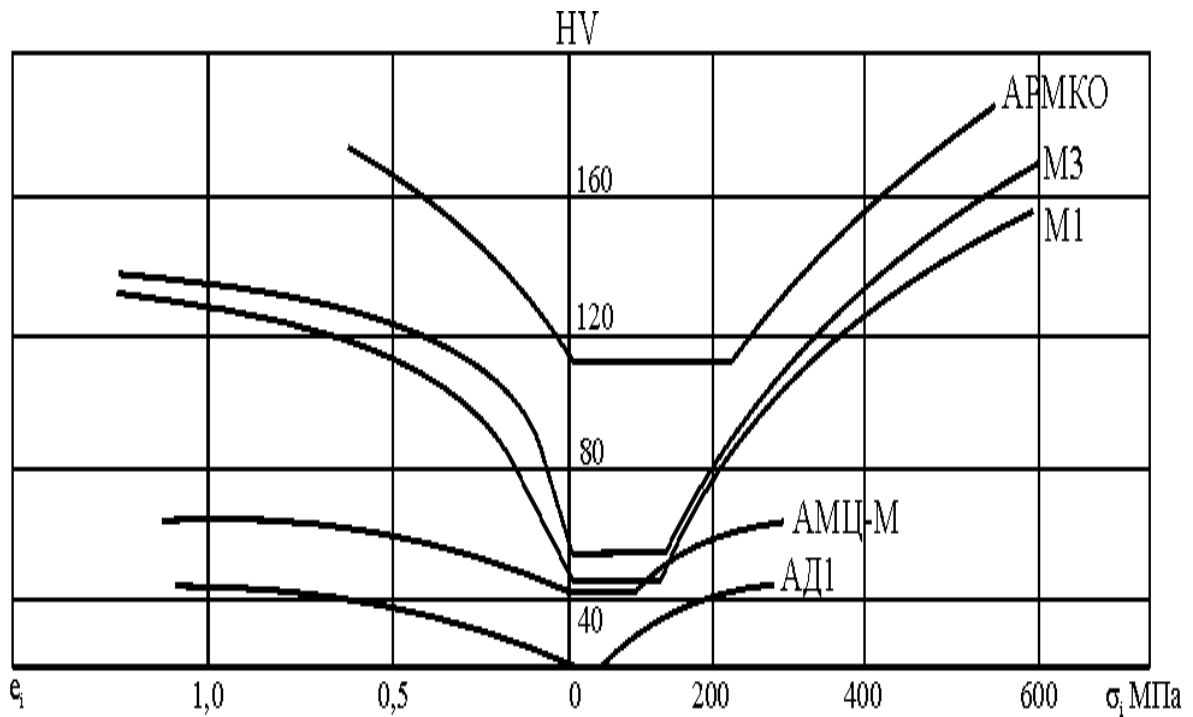


Рис. 3.9. Тарувальні графіки " $\epsilon - HV - \sigma_i$ " для матеріалів заготовок

Для зменшення сил деформування використовують видавлювання з активними силами тертя і видавлювання з роздачею (рис. 3.10) [1, 8, 15, 24].

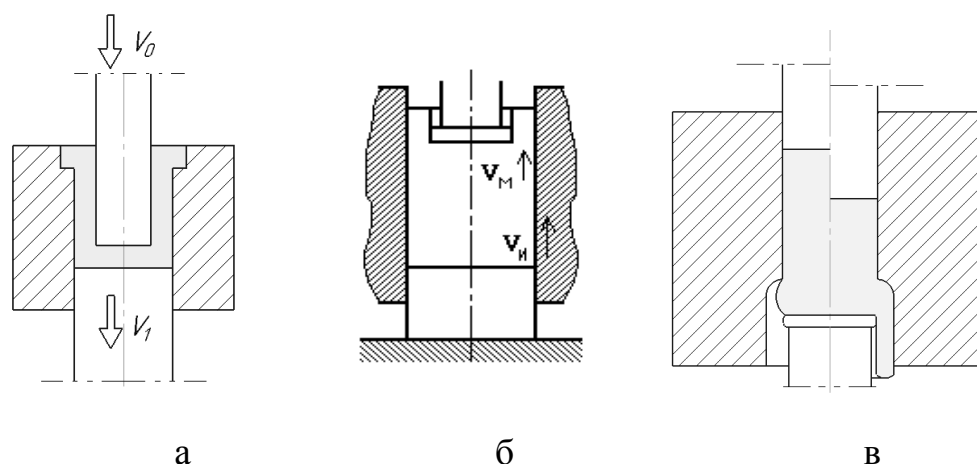


Рис. 3.10. Схема зворотного видавлювання з активними силами тертя (а) і з роздачею (б)

У силовий режим процесу видавлювання входить і сила виштовхування деталі з матриці і сила знімання деталі з пуансона (або сила витягування пуансона з порожнистої деталі). Ці показники, як правило, встановлюють у відсотковому відношенні від сили видавлювання. Наприклад, сила витягування пуансона з деталі типу стакан, який застряг в матриці, досягає до 15% від сили зворотного видавлювання. Знімання цієї деталі з пуансона, але за межами матриці, вимагає в десять разів меншої сили. Сила виштовхування деталі з матриці дорівнює 8–10% від сили видавлювання.

Крім того, важливим параметром є і сила розкриття роз'ємної матриці. При вільному радіальному видавлюванні на величину сил розкриття впливають параметри перехідної ділянки матриці (величина фаски або радіусу) і розміри самого фланця. Ця сила зростає протягом всього процесу і досягає до 30% від сили видавлювання. При вільному боковому видавлюванні відростків сила розкриття матриці по горизонтальній площині роз'єму менше і може бути прийнята рівною 15% від сили видавлювання.

При закритому радіальному і боковому видавлюванні ця сила розкриття досягає величини, що не менше сили видавлювання.

### **3.4. Розробка процесів формоутворення типових деталей**

При розробці технологій формоутворення слід притримуватись загальних принципів проектування, серед яких принцип максимальної завершеності форми виготовлених деталей. Він полягає в тому, що при виборі послідовності операцій перевага віддається такому їх набору і поєднанню, при якому потрібно мінімальний обсяг подальшої обробки деталей різанням. Також важливий принцип поєднання двох формоутворюючих операцій в одному переході. Найбільш просто поєднуються редукування і висадка, висадка та видавлювання, осадження і видавлювання, поздовжнє і поперечне видавлювання. Для способів комбінованого видавлювання необхідно забезпечити дотримання принципу керування процесами пластичного деформування з декількома ступенями свободи течії металу.

Враховуючи багатоваріантність технології видавлювання деталей (див. рис. 3.2), на стадії проектування співставлення і вибір раціонального варіанту необхідно робити за допомогою таких критеріїв вибору, як ступені і сили деформування.

На кожному переході необхідно визначити ступінь деформації (на даному переході та з початку формозміни) і значення питомих і повних зусиль видавлювання. Особливу увагу слід звернути на відповідність питомих зусиль деформації гранично допустимим (2100–2200 МПа) для інструменту холодного видавлювання і ступеня деформації граничним ступеням видавлювання даного матеріалу і способу видавлювання [2–8].

#### ***Типові технологічні процеси видавлювання стрижневих деталей***

Ці деталі мають фланець, діаметр  $D_f$  якого в 2..3 рази більше діаметра стрижня  $d_c$ . Причому стрижні можуть бути циліндричні, багатогранні, зубчасті, шліцьові і інші, а також змінного і ступінчатого перетину. Потовщення також можуть бути різної циліндричної форми (конічної, багатогранної, сферичної, ступеневого фланця та ін.), а також складної конфігурації (з порожниною, з виступами різної форми, розташованими симетрично і асиметрично).



Особливістю виготовлення деталей з фланцями полягає в тому, що вибір переходів визначається не тільки геометрією деталі, але і обмеженим ступенем формозміни заготовки.

При розробці технологічного процесу прямого видавлювання стрижнів з фланцями є досить широкі можливості варіювання діаметра вихідної заготовки  $d_z$  при заданих розмірах діаметра стрижня  $d_c$  і фланця  $D_1$ . Стрижень можна видавлювати із ступенем деформації до 75%. При  $D_1/d_c > 2$  процес формоутворення включає в загальному випадку дві операції: пряме видавлювання стрижня і подальша висадка фланця (рис. 3.11).

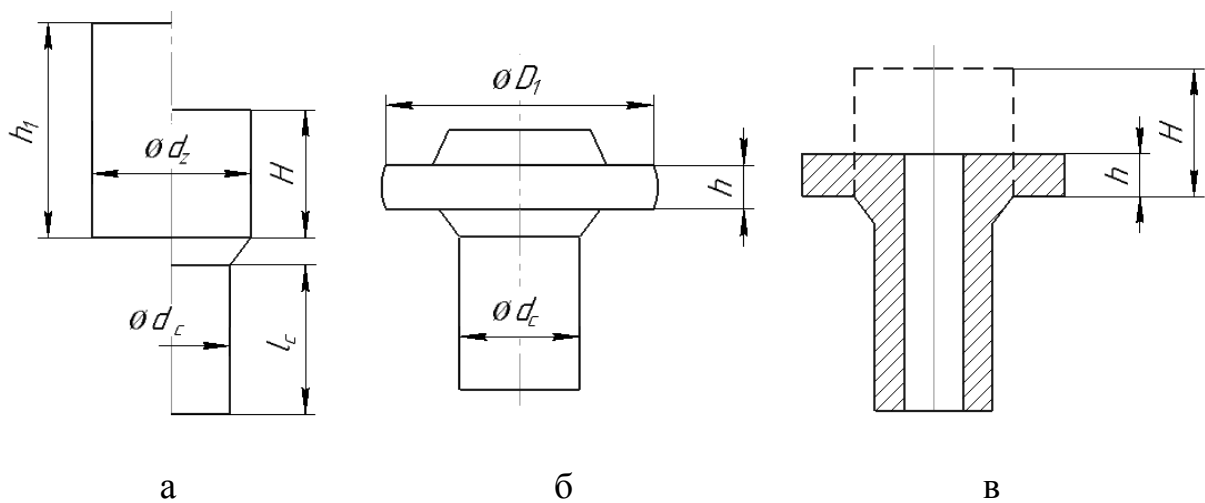


Рис. 3.11. Видавлювання стрижневих деталей з фланцем

Ступінь прямого видавлювання обмежений допустимими навантаженнями на інструмент. А обмеження на ступінь деформації при висадці фланця пов'язане з втратою стійкості частини заготовки, що висаджується, з висотою  $H$  (рис. 3.11). Крім того, граничний діаметр фланця обмежений ресурсом пластичності деформованого матеріалу. На операції прямого видавлювання рекомендується призначити перехідну конічну ділянку з кутом нахилу  $30\text{--}60^\circ$  і радіусом заокруглення крайок матриці. Довжина стрижня, що видавлюється, при цьому повинна бути трохи менше (на 1–3 мм) довжини стрижня у готовій деталі, щоб уникнути затискання при висадці фланця. Ступінь деформування при прямому видавлюванні визначають за площинами перерізу – ( $e = \ln(F/f)$ ), а при висадці фланця за висотними

розмірами –  $e = \ln(H/h)$ . Питоме зусилля при осадженні фланця плоско-паралельними плитами можна встановити за формулою (3.26).

Видавлювання стрижневих порожнистих деталей з фланцем (рис. 3.11, в) за послідовністю і критеріям не відрізняються від суцільних деталей. Ступінь деформації необхідно обчислити за реальними площами. За отриманими значеннями ступеня  $\varepsilon$ , використовуючи формулу (3.14), можна встановити і силові параметри.

Одноперехідне видавлювання ступінчастих стрижневих деталей з широким фланцем може бути здійснено комбінованим видавлюванням за чотирима схемами деформування, представленим на рис. 3.12.

Висадка (варіант 1) є найбільш простим способом виготовлення стрижневої деталі з фланцем. Обмеження, пов'язані з втратою стійкості подовженої ( $l/d > 2,0 \dots 2,5$ ) частини заготовки, що висаджується [3, 4]. Одночасно з висадкою формоутворення осьового відростка при ступенях деформації редукування (прямого видавлювання) більше 0,4 (варіант 2) ускладнене тим, що обтисненню стрижня буде передувати висадка фланця.

Комбінування схем радіального і прямого видавлювання відрізняється меншою енергоємністю процесу, більшою стійкістю вихідної заготовки і різноманітністю можливих технологічних схем силового і кінематичного впливу на заготовку. Основне обмеження комбінування схем прямого і радіального видавлювання полягає в тому, що вже сформований фланець може виступати в якості застійної зони і відділитися від стрижня при великих деформаціях. Підвищенню деформівності металу сприяє видавлювання в рухомій матриці (варіант 3) [8].

Комбіноване радіально-зворотне видавлювання (варіант 4) протікає в умовах сприятливого поділу осередків деформації. Це дозволяє отримати якісну деталь з досить широким фланцем і осьовим відростком. Обмеження процесу в тому, що стрижень формується порожнистим пуансоном, який має невелику міцність, особливо при холодному видавлюванні складнодеформованих матеріалів.

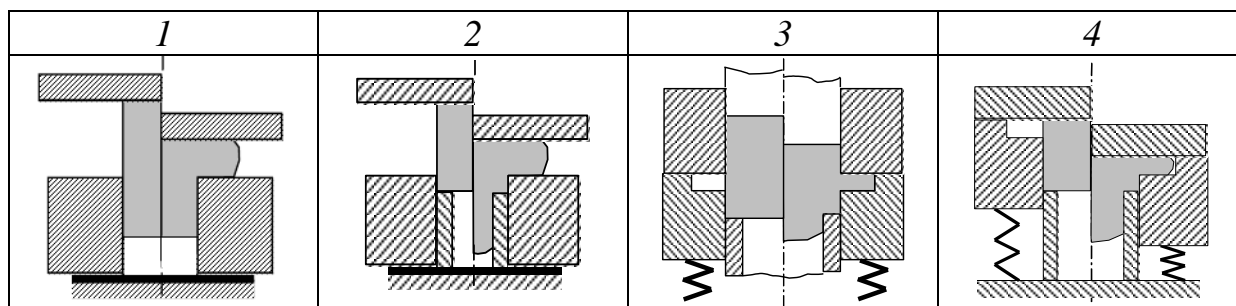


Рис. 3.12. Технологічні варіанти виготовлення деталі типу «стрижень з відростком і широким фланцем»

### *Радіальне видавлювання деталей з фланцем*

Радіальне видавлювання (рис. 3.13) є енергозберігаючим процесом і відрізняється можливістю регулювання кінематики течії металу (див. рис. 1.3) і силового і деформаційного режимів процесу. Заготовка вибирається по діаметру стрижневої частини деталі. Ступінь деформування при радіальному видавлюванні можна встановити, як

$$e = \ln \frac{S + h}{h}, \quad (3.31)$$

де  $S$  – хід пуансону, мм;

$h$  – товщина фланця.

Гранична товщина фланця на трубчастих заготовках обмежена тим, що при видавлюванні можливе поява дефектів типу утягнень (див. п. 4.1). Обмеження процесу пов'язані з наявністю критичного діаметру фланця і можливістю руйнування фланця під впливом окружних розтягуючих напружень. Осадка фланця на заключній стадії процесу підвищує ступень деформації.

Граничний діаметр фланця і стовщення  $D_*$  («стовщення» означає фланець, розташований в середній частині стрижневої деталі) залежить від параметрів  $h/2R_0$ ,  $r/2R_0$  деталей, і пластичних властивостей матеріалу заготовки – відносного звуження  $\psi$  шийки зразка при розтягуванні до руйнування.

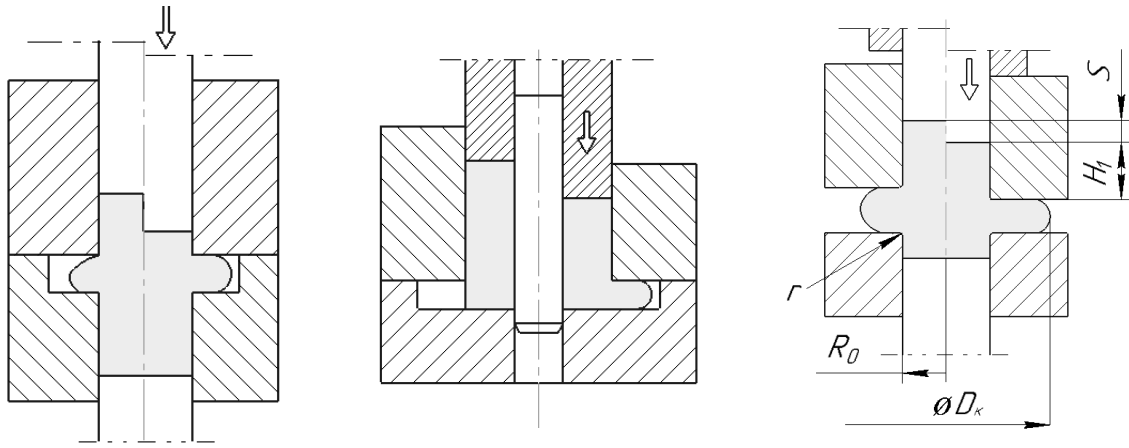


Рис. 3.13. Схема радіального видавлювання деталей з фланцем

Експериментальні дані по радіальному видавлюванні деталей дозволили отримати емпіричні моделі для відносних діаметрів стовщення

$$\frac{D_k}{d_z} = 1,8 \left(10 \frac{h}{d_z}\right)^{0,146} \cdot \left(10 \frac{r}{d_z}\right)^{0,043} \psi^{0,52}. \quad (3.32)$$

і фланця

$$\frac{D_k}{d_z} = 1,725 \left(10 \frac{h}{d_z}\right)^{0,14} \cdot \left(10 \frac{r}{d_z}\right)^{0,04} \psi^{0,5}. \quad (3.33)$$

Збільшення відносної товщини фланця  $h/2R_0$  і відносного радіуса  $r/2R_0$  сприяє помітному зростанню граничного ступеня радіального видавлювання з односторонньою подачею. Слід зазначити деяке зниження граничного ступеня формозміни при видавлюванні фланців, тобто при відсутності нижньої недеформованої частини заготовки. Цікавим є і той факт, що видавлювання потовщень з двосторонньою подачею металу також супроводжується зниженням граничних значень відносного діаметра фланця. В цьому випадку в розрахунках процесів видавлювання стовщень можуть бути використані коефіцієнти для фланців. Зниження деформаційної здатності сплавів при переході від схеми видавлювання з односторонньою подачею металу до двосторонньої пов'язано із зменшенням гідростатичного тиску в пластичній зоні.

Відзначимо, що при комбінуванні радіального видавлювання з висадкою фланця (див. рис. 1.3, схема 3б; рис.3.13, в) гранична ступінь видавлювання фланців збільшується в 1,5–2 рази [62].

### *Типові технологічні процеси видавлювання порожнистих деталей типу стаканів*

Основним методом виготовлення порожнистих деталей з глухим отвором типу стакан є зворотне видавлювання. Типовий процес включає операції відрізання заготовки, її калібрування і зворотне видавлювання (рис. 3.14).

При видавлюванні стаканів існує три види обмежень: на мінімальну товщину стінки  $s$ , кінцеву товщину дна  $h_k$  і максимальну глибину порожнини стакану  $h_2$ .

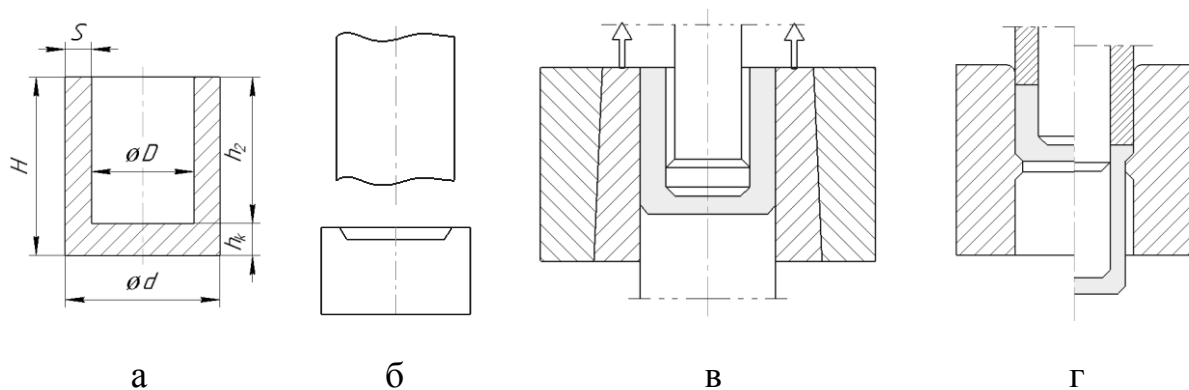


Рис. 3.14. Переходи штампування деталей типу стаканів і гільз

Найбільш навантаженим інструментом штампа є пуансон для зворотного видавлювання. Питомі зусилля на пуансон при деформації повинні бути обмежені для забезпечення їх довговічності. Тому параметри деталі повинні бути обрані з рекомендованих діапазонів: товщина стінки стакану  $s = 2\text{--}15$  мм при відносній висоті  $H/d \leq 1,2$ ,  $s = 0,5\text{--}6$  мм при  $H/d \geq 1,2$  ( $d$  – зовнішній діаметр стакану). Мінімальна товщина дна стакану  $h_k \geq s$ .

Обмеження глибини порожнини стакану  $h_2$  пов'язане з тим, що при видавлюванні порожнистих деталей типу стакану площа контактної повер-

хні зростає в рази і це приводить до розриву сильно стоншеної плівки змащення. Пуанسونи складної форми торця можуть розривати змащувальне покриття навіть при невеликій глибині порожнини. Такі деталі з фасонною формою дна слід виготовляти за два переходи: на першому отримати стакан з порожниною потрібної (дозволеної) глибини, а потім на другому переході формувати дно стакану (рис. 3.15) [2, 3].

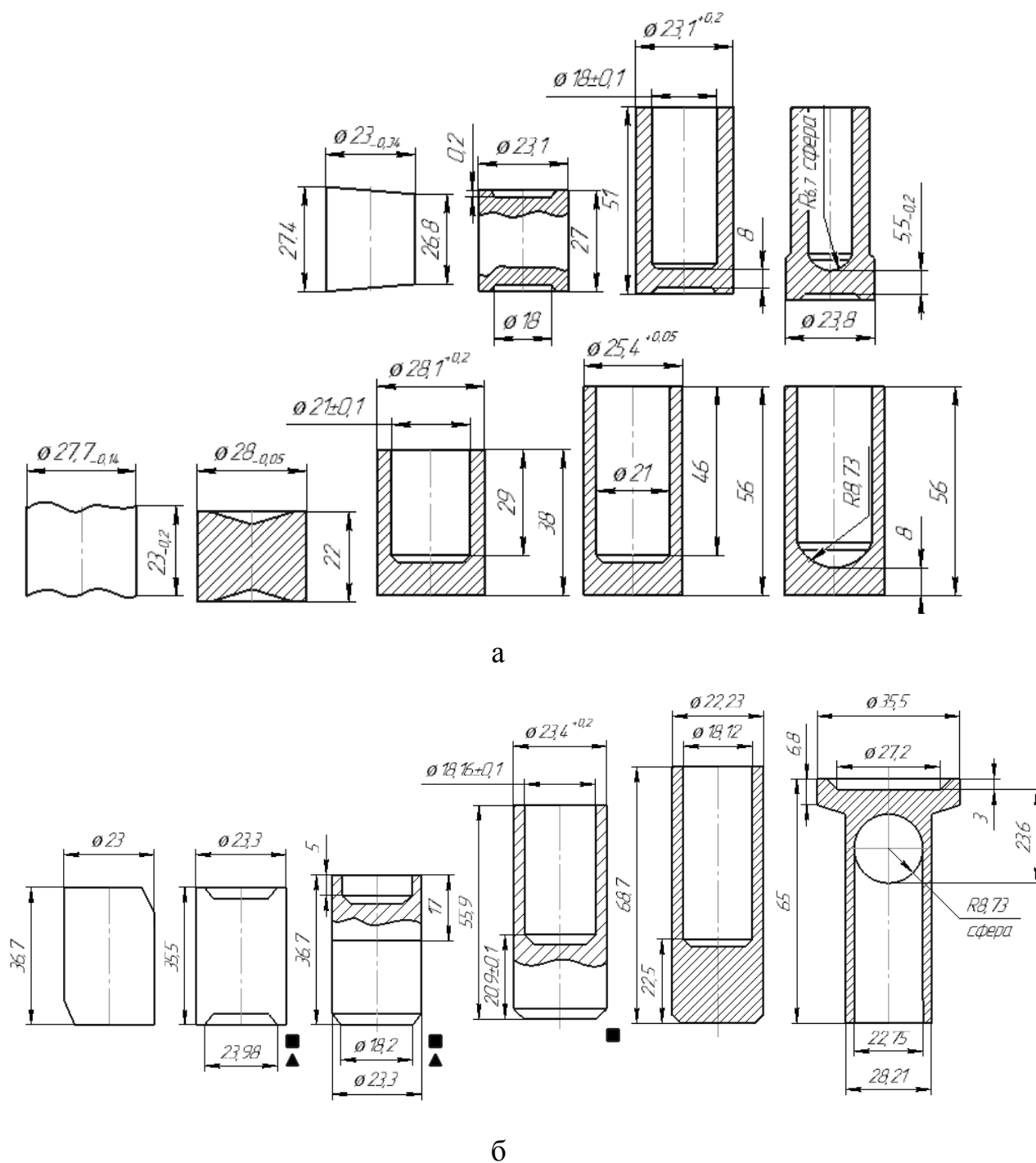


Рис. 3.15. Послідовність видавлювання деталей типу стаканів

Відносну глибину видавленої порожнини  $\lambda_n = h_2 / D$  рекомендовано призначати в залежності від питомого зусилля деформування [2, 6]:

$P,$ $МПа$	600	800	1000	1400	1800	2000	2200	2400
$\lambda_n$	8,0	6,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Для сталевих заготовок відносна глибина видавлювання  $\lambda_n = h_2 / D \leq 2-2,5$ .

Для отримання глибоких тонкостінних стаканів зворотне видавлювання доповнюють операцією витяжки зі стоншенням стінки або прямим видавлюванням на оправці (рис. 3.15, а і 3.16) [4]. Деталі, виготовлені зворотним видавлюванням, слід піддавати подальшому прямому видавлюванню (протягуванню) для стоншування стінки до необхідних розмірів р невеликим ступенем деформації, що сприяє також підвищенню точності розмірів деталей.

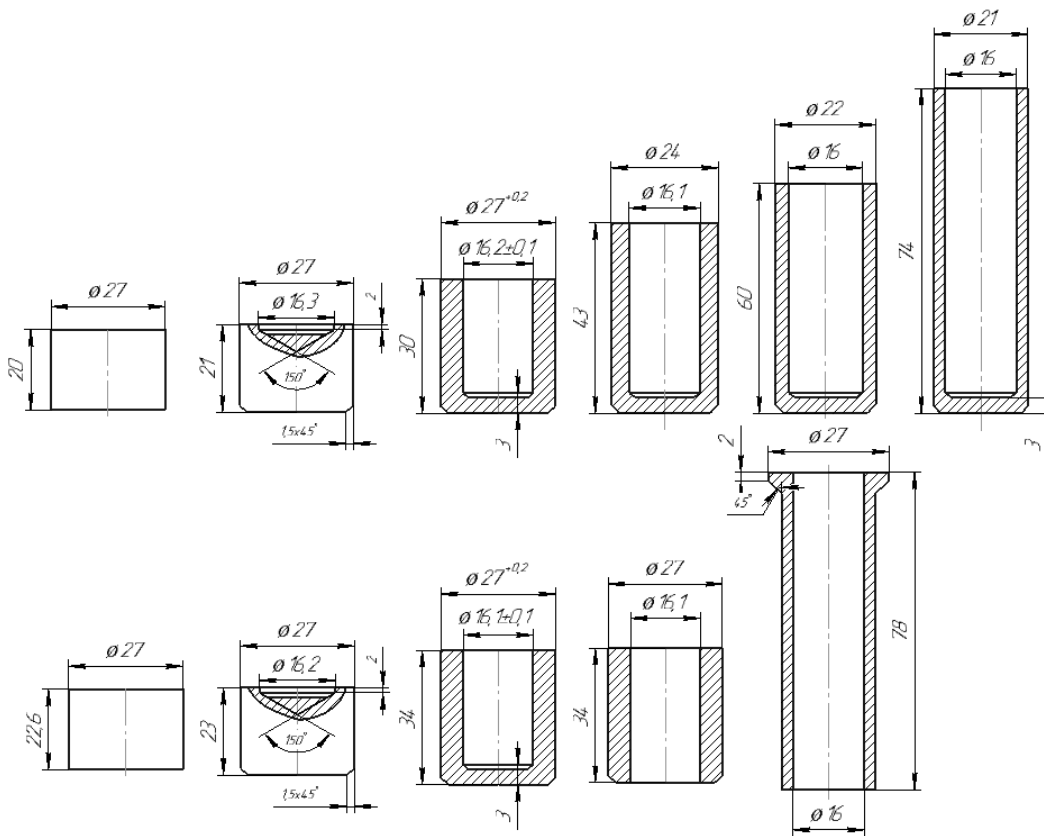


Рис. 3.16. Послідовність виготовлення порожнистих деталей

Для зменшення зусилля використовують видавлювання з активними силами тертя і видавлювання з роздачею (див. рис. 3.10).

### **Видавлювання ступінчастих стаканів**

Ступінчасті стакани можуть бути 3-х видів: із ступінчастим зовнішнім контуром, із ступінчастою порожниною, а також із ступінчастими зовнішнім і внутрішнім контурами (рис. 3.17). Найбільш технологічні стакани 2-го виду. Для їх виготовлення використовується одноперехідне видавлювання ступінчастим пуансоном, якщо параметр глибини порожнини  $\lambda_n$  не перевищує 2,5 і якщо перехід між ступенями можна виконати з великими радіусами  $R$  і  $R_1$ .

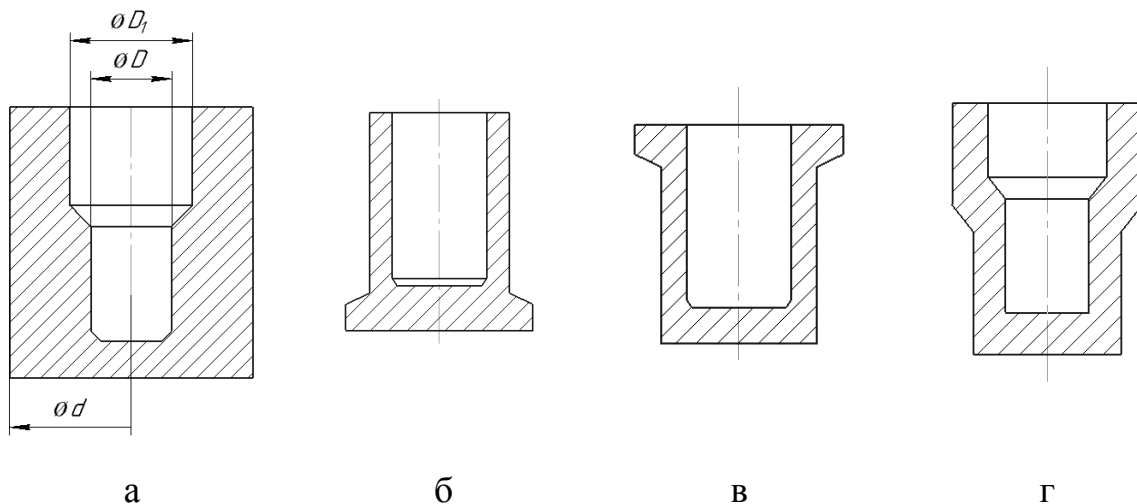


Рис. 3.17. Ступінчасті деталі, що можна отримати видавлюванням

Однак при видавлюванні ступінчастим пуансоном питоме зусилля в 1,5 рази більше, ніж при видавлюванні гладким пуансоном. Стійкість ступінчастих пуансонів нижче, ніж гладких. Через це одноперехідне видавлювання доцільне для отримання деталей з напруженням течії не вище 500 МПа з урахуванням деформаційного зміцнення.

Складніше видавлювання стаканів із ступінчастим зовнішнім контуром. Якщо фланець або стовщення розташовується з боку дна (рис. 3.17, б), деталь можна отримати прямим видавлюванням на контрпуансоні (рис. 3.18, а). Технологічно це просто, але ускладнюється конструкція шта-



мпа, особливо коли товщина стінки менше 3 мм. Важко забезпечити виштовхування тонкостінних деталей з матриці.

Для таких деталей з розвинутим фланцем біля дна більш привабливим способом є комбіноване радіально-зворотне видавлювання (див. рис. 3.18, в, і рис. 2.3). Двохперехідним варіантом (рис. 3.18, в) передбачено висадка фланця на дні стакану, яка виконується в окремому штампі (див. рис. 3.15, б).

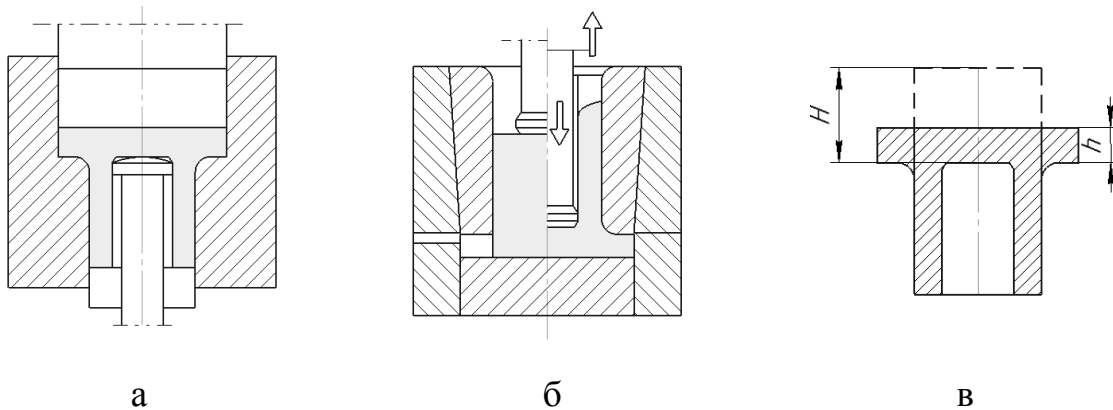


Рис. 3.18. Способи отримання деталей типу стакан з фланцем біля дна

Деталі типу стакан з фланцем, який розташований біля кромки порожнини, видавлюють, як правило, за два переходи. Фланець або стовщення на зовнішній поверхні невеликих розмірів можна отримати при прямому видавлюванні стакану на оправці (див. рис. 3.14, г). Другий варіант – це висаджування фланця на кромки стакану (рис. 3.19, а). Однак цей варіант потребує достатньої товщини стінки стакану для запобігання втрати її стійкості.

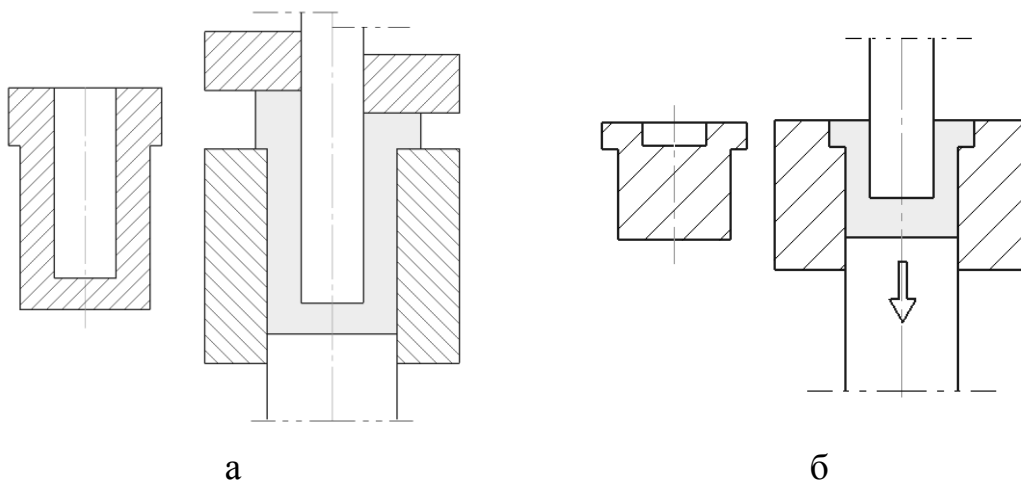


Рис. 3.19. Видавлювання стаканів з фланцями біля верхньої кромки

Фланці більших розмірів і об'єму можна оформити и при калібрування (одночасно с наміткою) заготовки до зворотного видавлювання. Зворотне видавлювання такої заготовки можна провести в режимі активного контактного тертя і з розтягуванням (рис. 3.19, б).

На рис. 3.20 наведено технологічні переходи холодного видавлювання деталі «ковпачкова гайка» для кріплення колеса, серед яких і підготовка калібруванням заготовки оптимальної форми з фланцем і наміткою під пуансон зворотного видавлювання [4].

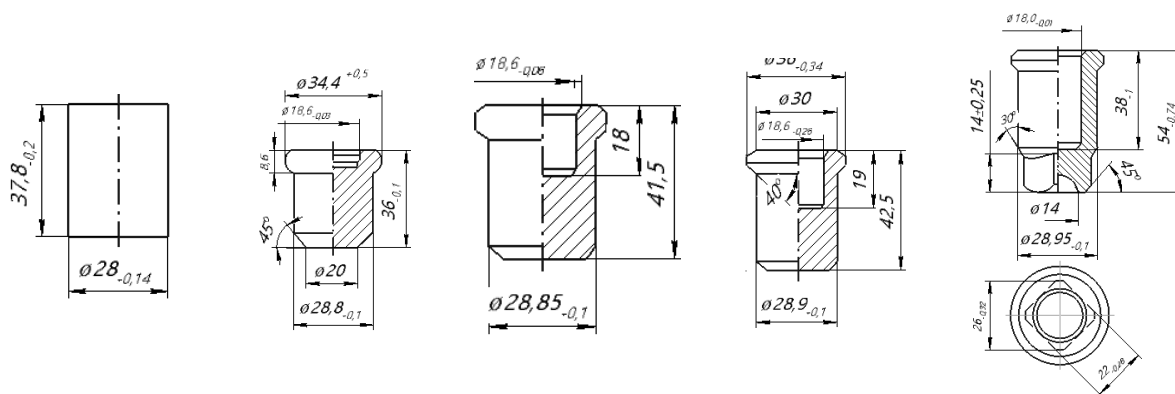


Рис. 3.20. Переходи при штампуванні деталей складної форми

Деталі 3-го типу із ступінчастими зовнішнім і внутрішнім контурами виготовити одноперехідним видавлюванням поки не вдається.

Видавлювання стаканів із складною формою дна у вигляді заглиблення або виступів виконують як правило за два переходи. Якщо западини плавні, то на початку формують гладку або ступінчасту порожнину, а потім формують поглиблення з потрібними радіусами (див. рис. 3.15). Якщо матеріал пластичний або виробництво дрібносерійне, то зазначену деталь можна виготовити за один перехід. Деталі, які мають виступи, виготовляють з урахуванням форми, розмірів і розміщення цих виступів. Невисокі виступи з плавними контурами (рис. 3.32, а) незначно ускладнюють процес видавлювання.

Високі виступи на дні (рис. 3.21, б і в) можна отримати способом комбінованого видавлювання на основі використання принципу управління процесами з двома ступенями свободи течії металу [2]. Для стабільного

протікання процесу необхідно забезпечити під час видавлювання одночасну течію металу в стрижень і стінку за рахунок оптимізації геометрії інструменту або створення протитиску в потрібному напрямку.

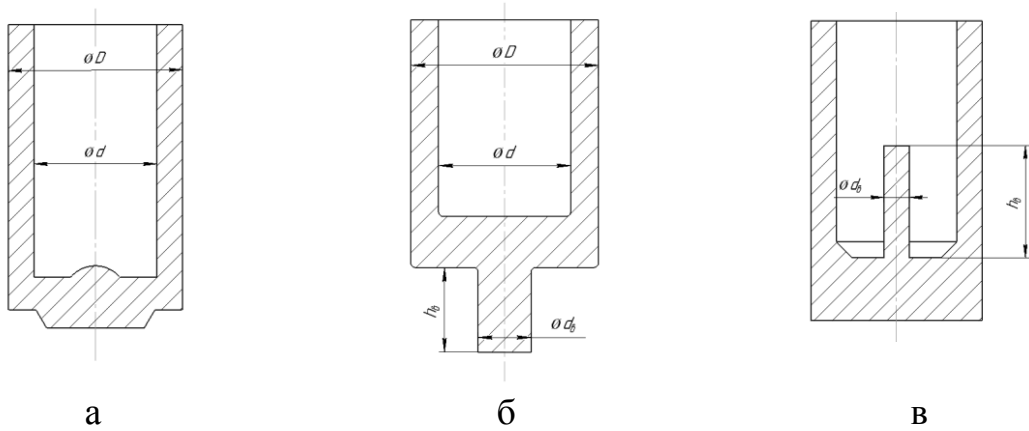


Рис. 3.21. Приклади стаканів з виступами (відростками) на дні

Комбіноване видавлювання особливо ефективно при значних розмірах виступів на стаканах, які при цьому розглядаються як осеві відростки. В останні роки поряд з власно суміщеним (комбінованим) зворотно-прямим видавлюванням (рис. 3.22, а) розроблені процеси видавлювання з роздачею (рис. 3.22, б) і послідовного радіально-прямого видавлювання (РПВ) порожнистих деталей (рис. 3.22, в). При видавлюванні з роздачею діаметр заготовки дорівнює діаметру порожнини, а в РПВ – процесі діаметр заготовки менший приблизно в два рази. За рахунок цього і зміни схеми напружено-деформованого стану зменшуються потрібні сили деформування.

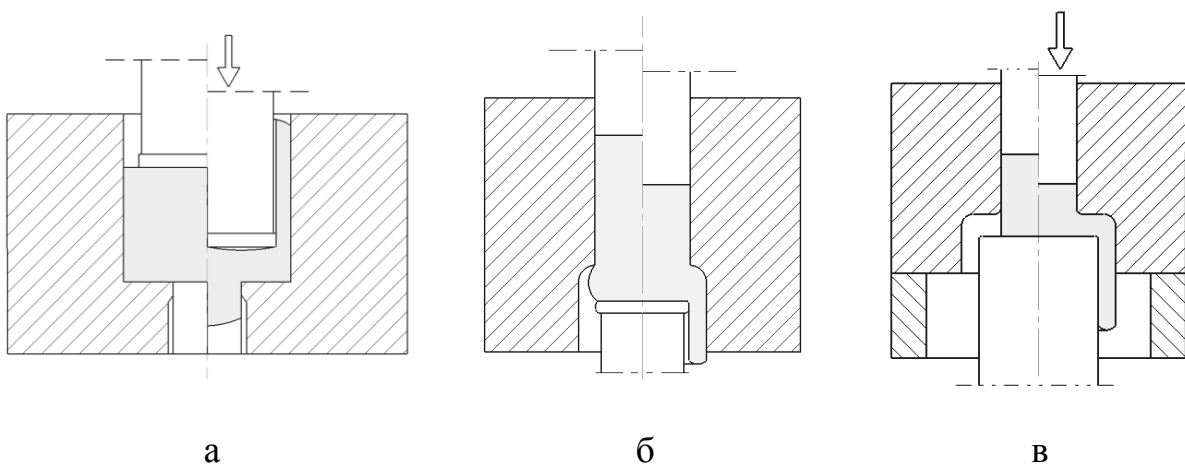


Рис. 3.22. Схеми комбінованого видавлювання деталей типу стаканів з зовнішніми відростками

Однак, незважаючи на менші зусилля, тут у порівнянні зі звичайним видавлюванням, виникають конструктивні труднощі з видалення деталей. Крім того, через розтягуючі напруження в тангенціальному напрямку можливе зниження деформівності металу заготовок і утворення тріщин.

### ***Багатоперехідне видавлювання гладких і східчастих стаканів***

Обмеження на глибину порожнини і товщину стінки при видавлюванні гладких стаканів змушує застосовувати багатоперехідне видавлювання. При цьому перший перехід – зворотне видавлювання, служить для отримання напівфабрикату, з якого шляхом одно- або багатоперехідного протягування зі стоншенням (редукування) отримують деталь з необхідною глибиною порожнини або товщиною стінки (див. рис. 3.16). На першому переході глибина порожнини дорівнює 0,8–0,95 від гранично допустимої.

Стакани зі ступінчастою порожниною і гладким зовнішнім контуром виготовляють багатоперехідним видавлюванням в наступних випадках:

- матеріал деталей з високим напруженням течії (середньовуглецеві і низьколеговані сталі);
- неприпустимо велика різниця між діаметрами порожнин;
- глибина порожнини перевищує  $2,5D$ .

Приклади деталей з двоступеневими і тріступеневими порожнинами, які виготовляються за відповідне число переходів, дано на рис. 3.23. На таких послідовних переходах можна отримати порожнини з зубчастими профілями.

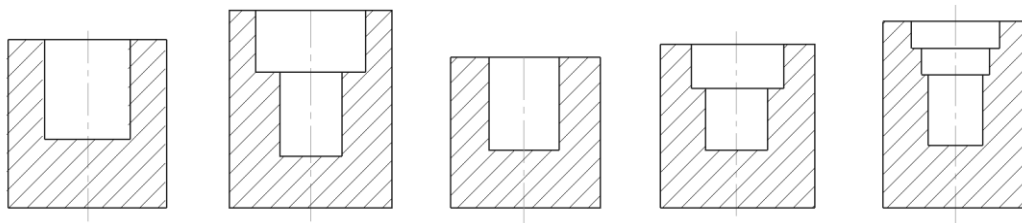


Рис. 3.23. Деталі з ступінчатими порожнинами

### Видавлювання втулок

Для виготовлення гладких довгих втулок з трубної заготовки використовують операцію прямого видавлювання на прохід (рис. 3.35) за принципом заготовка за заготовкою.

Технологічний процес наступний: отримання трубчастої заготовки, підготовка заготовки, пряме видавлювання на прохід. Таким способом виготовляють деталі з заготовки зі співвідношенням довжини до діаметру  $h_3/D_0 = 3...5$  для отримання гладких втулок з співвідношенням  $l_g/D_1 = 5...8$ .

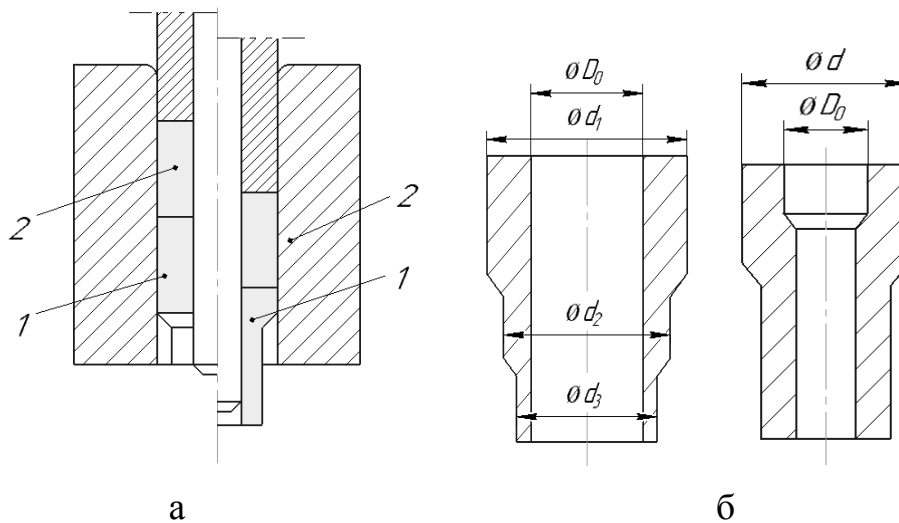


Рис. 3.24. Схема прямого видавлювання гладкої втулки на прохід (а) і різновиди ступінчастих втулок (б)

Проміжною операцією для підготовки вихідної заготовки може служити спосіб наскрізного прошивання конічним пуансоном (див. рис. 2.3). Простим способом отримання трубчастої заготовки є і процес зворотного видавлювання з подальшою пробивкою дна. Оригінальні способи видавлювання втулок з суцільних заготовок описані в п. 2.2.

Втулки із ступінчастим зовнішнім контуром отримують послідовним видавлюванням ступеньок з меншими діаметрами за схемою прямого видавлювання. Втулки із ступінчастою внутрішньою порожниною отримують прямим видавлюванням гладкої втулки ступінчастим пуансоном [2]. Втулки з фланцем видавлюють аналогічно стаканам (див. рис. 3.2) або за схемою радіального видавлювання на оправці (див. рис. 2.5, 3.13)

### Типові технологічні процеси видавлювання коробок

Коробки – досить поширений вид деталей, що виготовляються видавлюванням [2, 20–24]. Для видавлювання коробок є також обмеження: на мінімальну товщину стінки, мінімальну товщину дна, максимальну глибину порожнини, яка видавлюється. Ці обмеження встановлюються аналогічно прийнятим для стаканів.

При видавлюванні коробок деформований стан сильно відрізняється від вісесиметричного. Тому деталі виходять з відхиленнями форми у вигляді фестонів (рис. 3.25). Це призводить до збільшення витрати металу і необхідності додаткової операції обрізання. Простий спосіб зниження висоти фестонів – використання пуансонів з квадратною рисою на торці. В результаті дно має сітчасту форму (рис. 3.25, б). Висота виступів  $h = 0,15 \dots 0,25$  мм, крок  $t = 2 \dots 5$  мм [2]. Така насічка призводить до збільшення зусилля на 8–12%. Для зменшення фестоністості використовують пуансоны з калібрувальним пояском змінної висоти, або видавлювання з протитиском. При видавлюванні товстостінних коробок в кутах зазвичай утворюється утягнення. Для запобігання утягнень використовують заготовки з виступами, які отримують при осадженні–калібруванні за допомогою виштовхувача зі скосами в кутах.

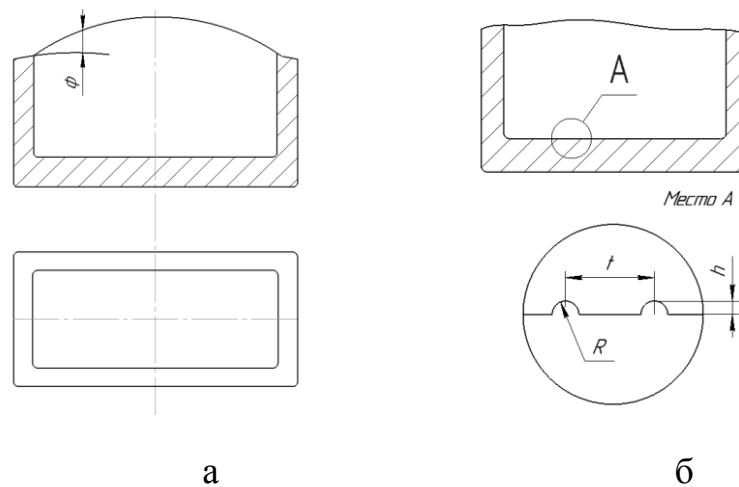


Рис. 3.25. Коробки, які виготовляють видавлюванням гладким пуансоном (а) і пуансоном з насічкою на торці (б)

Для поширених тонкостінних коробок із сплавів кольорових металів з постійною по периметру товщиною стінки можна запропонувати типовий технологічний процес: а) вирубка з листа прямокутної заготовки (за розмірами матриці); б) підготовка заготовки – відпал, очищення від окалини, знежирення і травлення, нанесення мастила; в) видавлювання за один перехід пуансоном з насічкою і змінним за висотою калібрувальним паском.

Умови для застосування двоперехідного видавлювання коробок аналогічні, як для стаканів. Коробки ступінчастої форми отримують за наступною схемою: зворотне видавлювання коробки, підрізування торця, висадка потовщення (фланця).

### ***Видавлювання складнопрофільованих деталей***

Найчастіше для виготовлення складнопрофільованих деталей застосовується підхід поетапного отримання окремих елементів із застосуванням традиційних схем штампування і схем поздовжнього або поперечного видавлювання. Розглянутий клас деталей (типу стакану з відростком) призначений для використання в автомобільній промисловості (див. рис. 3.20). В роботі [49] запропоновано отримати деталь «Цапфа колісна» холодним видавлюванням за шість переходів (рис. 3.26).

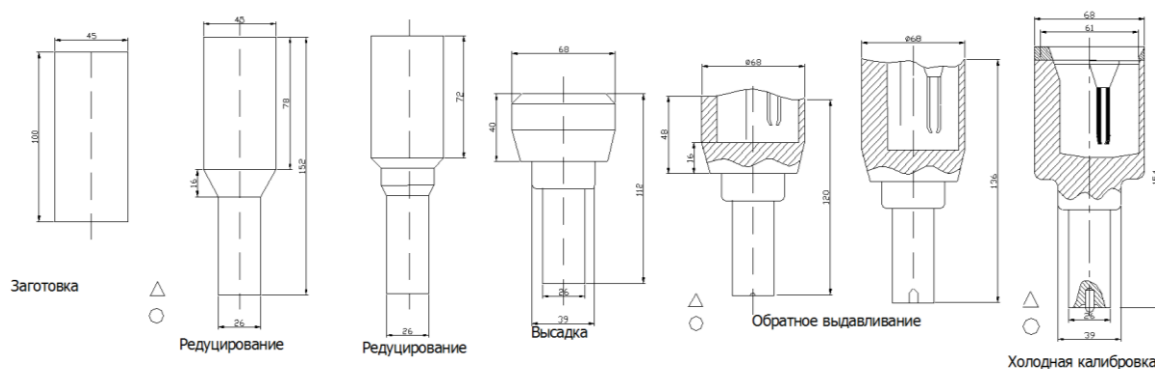


Рис. 3.26. Видавлювання по переходам складнопрофільованої деталі

Огляд технологічних можливостей нових способів поперечного та комбінованого видавлювання з виготовлення деталей типу хрестовин і інших складних конфігурацій приведено в роботах [8, 33, 42].

### 3.5. Отримання заготовок способом розділення з прокату

Для видавлювання деталей використовують різноманітні марки кольорових металів, вуглецевих і легированих сталей. Ці матеріали поставляються у вигляді гарячекатаних і холоднотягнутих труб, дроту, пресованих прутків, листів та стрічок.

Основними способами отримання заготовок для видавлювання є відрізання на металорізальному обладнанні, відрізання від прутка зсувом в спеціальному штампі, вирубка з листа, відрізання та висадка на холодно-висадочних автоматах.

На металорізальному обладнанні (дискових пилах, токарних і фрезерних верстатах) отримують точні заготовки (допуски не більше  $\pm 0,1$  мм), які не потребують калібрування. Одночасно з відрізання можна здійснювати обточування поверхневого дефектного шару переважно гарячекатаного прокату. З огляду на велику витрату металу цей спосіб доцільний лише при невеликих програмах випуску.

Високопродуктивним і економічним способом є відрізання заготовок в штампах. Для підвищення якості і точності заготовок розроблені нові ефективні конструкції відрізних штамтів: втулкові, з похилою подачею прутка, з диференційованим затиском прутка, з редукуванням прутка, з постійним відносним зазором і багатоопорні [10].

Для видавлювання тонкостінних деталей з кольорових металів і сплавів низькі заготовки отримують, як правило, вирубкою з листа в штампах з від'ємним зазором між пуансоном і матрицею і зі скошеними кромками матриці.

Застосування холодновисадочних автоматів дозволяє виготовити з високою продуктивністю заготовки різних конфігурацій: циліндричні, ступінчасті, кільцеві та ін. Для отримання кільцевих заготовок використовують економічні за витратами металу способи. Способом зварювання гнутих з дроту кілець підготовлюють заготовки з маловуглецевої сталі і ко-



льорових металів і сплавів. Для виготовлення втулок з буртами прямим або радіальним видавлюванням можливе застосування заготовок у вигляді згнутого з листового матеріалу кільця без зварювання шва. Деталі, отримані з таких заготовок, мають добрі експлуатаційні властивості.

Відрізання зсувом (зрушенням) – найбільш ефективний і високопродуктивний безвідходний процес, який використовується в масовому виробництві. Його застосування, у порівнянні з відрізанням на верстатах, дає можливість знизити витрати на отримання заготовок в 5...6 разів, на 5...20% знизити витрату металу, довести продуктивність до 2000 шт/год [3, 10, 76–79]. Однак даний спосіб має два істотні недоліки:

- неможливо отримати короткі заготовки без значного викривлення форми;

- при різанні зсувом значні (до 3%) коливання об'єму заготовок за рахунок нерівності їх торців.

Видавлювання деталей різних типів вимагає різні вимоги до точності заготовок, тому доводиться використовувати багато способів різання.

Найбільш високі вимоги пред'являються до заготовок для видавлювання стаканів і коробок. Тут важливо забезпечити точне центрування заготовки і запобігти перекосу пуансонів. Якщо відносна висота заготовки  $l/d > 0,5$ , то застосовують різання каліброваного і пресованих прутків (рідко гарячекатаних) в штампах з наступним калібруванням півфабрикату. Якщо  $l/d < 0,5$ , то застосовують вирубку з листа.

Під розрізанням в штампі розуміють безвідходний поділ прокату на заготовки шляхом зсуву відрізаної частини по поверхні розділу під впливом ножів, що зміщуються. Переміщення одного або двох ножів можуть бути поступовими, обертальними або мати іншу траєкторію заданої форми.

Принципова схема відрізання в штампі приведена на рис. 3.27.

Для розрізання пруток 2 подають під кутом через поверхню нерухомого ножа 1 до упору і затискають з силою  $Q$  притиском 3. Під впливом повзуна преса рухливий ніж 4 зміщується щодо нерухомого ножа 1, відрі-

заючи заготовку від прутка 2. При цьому притиск 5 затискає заготовку також з силою  $Q$ . Основні параметри заготовки: діаметр  $D_z$ , довжина  $l$ . Важливішими параметрами є: осьовий зазор між ножами  $Z$ , поперечний зазор  $Z_n$  між отвором і прутком і кут нахилу прутка  $\alpha$ .

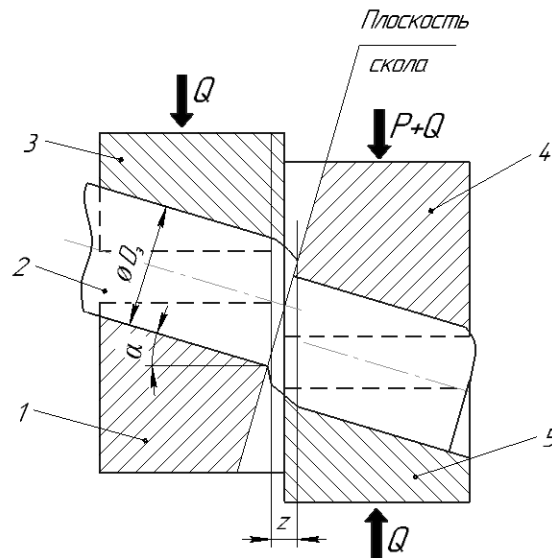


Рис. 3.27. Схема відрізання зі зсувом з нахилом і затиском прутка і заготовки: 1 і 4 – ножі, 2 – пруток; 3 і 5 – притиски

Форма відрізаної заготовки залежить від ступеня розвитку пластичної деформації і характеру руйнування при відрізці. При відрізці без нахилу з великими викривленнями форми поверхня заготовки складається з неоднорідних за своєю природою ділянок (рис. 3.28). Овальна форма торця заготовки утворюється в результаті поперечної вм'ятини 1 і утягнення 4. Пластичний (блискучий) поясок 2 на торці утворюється зсувом, а в результаті руйнування утворюється шорстка поверхня 3.

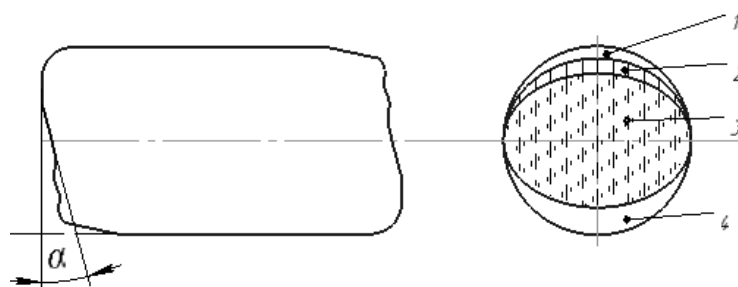


Рис. 3.28. Зони розділу на заготовці під час відрізання зі зсувом без нахилу прутка

## Способи і схеми різання

Розрізняють чотири основних способи різання зсувом пруткового матеріалу (рис. 3.29) [4, 10]:

Відкрите відрізання (спосіб 1) виконується у відкритому штампі, що не обмежується упорами або притисками при переміщенні прутка і відрізаються частини у вертикальній площині. При відрізці відбувається вільний пластичний вигин відрізуваної частини, що веде до значного викривлення форми прутка, що відрізається, і поворот прутка. Цей спосіб застосовують в одиничному виробництві для відрізання довгих заготовок ручними важільними ножицями або примітивними штампами на ручних пресах.

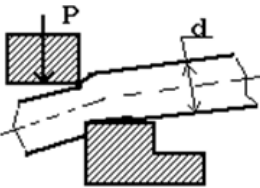
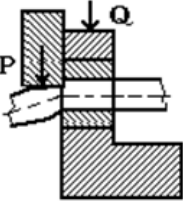
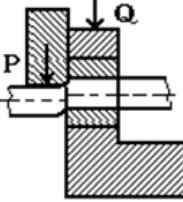
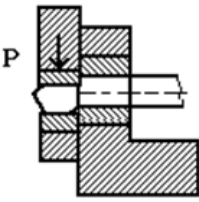
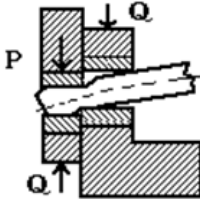
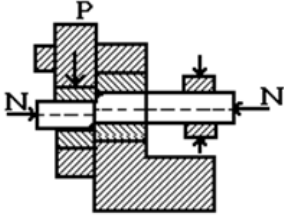
1. Відкрита		
2. Неповністю відкрита	<p>С пасивним натисканням</p> 	<p>С активним натисканням</p> 
3. Неповністю закрита	<p>З пасивним натисканням</p> 	<p>З активним натисканням</p> 
4. Закрита	<p>З осьовим стисненням</p> 	

Рис. 3.29. Способи різання зсувом пруткового матеріалу

Неповністю відкрите різання (спосіб 2), на відміну від відкритого, має обмеження рухливості (повороту прутка). Пасивний притиск здійснюється реактивними силами, що створюють момент, який утримує пруток від повороту. Активний поперечний затиск силою  $Q$  виконується в роз'ємному нерухомому ножі спеціальним гвинтовим, клиновим, пневматичним або гідравлічним вузлом. При неповністю відкритому відрізання м'яких металів з'являються: значні утягнення, хвилястість торців, задирки і виривання на торцях. Неповністю відкрите відрізання застосовують для різання прутків з металу середньої і підвищеної твердості на заготовки довжиною не менше діаметра перетину, в тих випадках, коли можна не пред'являти високих вимог до геометричної точності. Перевага способу: простота видалення заготовки на «провал». Крім того, при швидкості різання більше 40 м/с ця схема відрізання вельми ефективна і забезпечує отримання геометрично точних заготовок.

Неповністю закрите відрізання за способом 3 відрізняється від попередньої тим, що виключається можливість повороту і вигину відрізуваної частини і прутка пасивним і активним притиском. Тут спостерігається менше викривлення форми, ніж при способах 1 та 2. З цього способу 3 знаходить все більшого поширення для безвідходного різання в штампах і на сортових ножицях точних заготовок довжиною більше 0,8–1,0 діаметру прутка.

Закрите відрізання (спосіб 4) виконується в закритому штампі і відрізняється від способів 1–3 тим, що відрізана частина прутка повністю замкнута в порожнині нерухомого ножа і в осередку деформації створюється схема напружень всебічного стиснення. При достатніх напруженнях осевого стиснення поділ прутка відбувається шляхом пластичного зсуву. Не має відколу, торці мають гладку, плоску і перпендикулярну до осі заготовки поверхню. Це єдиний спосіб для отримання геометрично точних коротких заготовок довжиною більше 0,1 діаметру прутка. Недоліком способу є

контактне тертя між торцем заготовки і ножом, через що при великих осьових стисканнях виникають задирки і налипання металу.

Основними параметрами, що визначають при різанні зрушенням якість різу (перпендикулярність площини зрізу осі заготовки, відсутність зминання, вигину, тріщин і виривів), є нахил прутка, наявність і величина сили затиску прутка, величина зазору і швидкість різу.

Відрізання в штампах по швидкості деформування ділиться на варіанти:

- відрізання при звичайних швидкостях  $< 1,5$  м/сек;
- відрізання при підвищених швидкостях 2–20 м/сек;
- відрізання при високих швидкостях  $> 20$  м/сек.

Кут нахилу прутка  $\alpha$  залежить від властивостей матеріалу і при наявності затиску прутка може змінюватися від 0 до  $8^{\circ}$  (див. рис. 3.27) [3].

Кут нахилу прутка  $\alpha$ . Нахил прутка при неповністю закритій відрізці дозволяє отримати заготовки з торцями, перпендикулярними осі.

Найбільша перпендикулярність торців може бути досягнута при оптимальному куті нахилу, який для прутків і сталей становить 2–9°.

Оптимальний кут залежить від міцності дроту, зі збільшенням міцності і твердості кут нахилу зменшується [3, 6, 10]:

НВ	110	135	160	185	200	250
$\alpha, ^{\circ}$	9	8	7	4.5	2	0

Поперечний зазор  $Z_n$  між прутком і отвором ножа погіршує відрізання, але він необхідний в штампах з цільними втулковими ножами для забезпечення можливості просування прутка, компенсації неспіввідносності установки ножів, виключення заклинювання заготовки і прутка в ножах (табл. 3.6) [6].

## Поперечні зазори при різанні зсувом

Діаметр прутка $D_z$	10–25	26–50	51–60	61–80
	$Z_n$ мм			
гарячекатані, сталеві	1,5	1,5–2	2,5	3
калібровані сталеві і латунні	0,3	0,5	0,5	0,6

Втулкові штампи можуть забезпечити високу якість різу, якщо зазор між відрізуваною заготовкою і рухомою втулкою не перевищує 3–5% діаметра прутка. Однак гарячекатані прутки не завжди задовольняють цим вимогам.

Оптимальний осьовий зазор призначають в залежності від матеріалу, величини поперечного перерізу, схеми відрізання і вибирають в межах  $(0-0,2) D_z$ .

При різанні з затисканням сила різання дорівнює:

$$P = \tau_{\max} F, \quad (3.34)$$

де  $\tau_{\max} = 0,72\sigma_b$  – опір зсуву, МПа;

$F$  – площа перерізу прутка, мм<sup>2</sup>.

**Відрізні штампи**

Відрізні штампи широко застосовуються в металообробному виробництві для розрізання сортового прокату на мірні заготовки. Вони без великих витрат можуть бути виготовлені на заводах і встановлюватися на пресах, що є перевагою перед сортовими ножицями.

Найпростіший штамп для неповністю відкритого відрізання з пасивним поперечним затисканням наведено на рис. 3.30.

Штамп має нерухомий ніж – втулку 1, який запресований в обойму 2. Втулка 3 дозволяє встановлювати потрібний зазор і фіксується гайкою 4. Таке регулювання дозволяє швидко переналагоджувати штамп на відрізання іншого сортаменту, а також встановлювати ніж в правильне положення після заточки. Мінімальна відносна довжина частини, що відріза-

ється, починається з 1,5. Рухомий ніж 5 виконаний у вигляді пластини з ріжучими крайками на ножах (заміна можлива шляхом повороту).

Штампи для неповністю закритого відрізання забезпечують отримання більш точних заготовок. Ці штампи знаходять все більш широке поширення в промисловості. Застосовують втулкові ножі, які можна повертати на  $60^\circ$  для встановлення нової ділянки ріжучої кромки (рис. 3.31). Нерухомий ніж – втулка 1, встановлений в запресовану в корпус втулку; його положення регулюється настановною гайкою 2 і фіксується контргайкою. Аналогічно рухомий ніж 3 кріпиться в рухомому корпусі 4. Співвісність ножів забезпечується регулювальними гвинтами. Рухома частина не кріпиться до повзуна преса, повертається вгору за допомогою пружин. При відрізання каліброваних прутків задовільна точність забезпечується при відносній довжині  $l/D \geq 1,0$ .

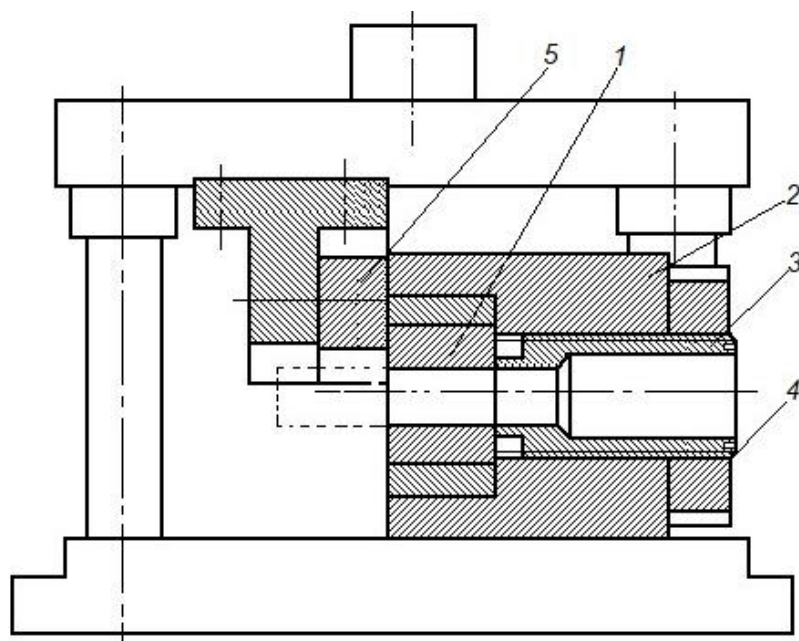


Рис. 3.30. Штамп для неповністю відкритого відрізання прутка

З усіх штамів з активним поперечним затисканням найбільш широко поширені штампи з диференційним затисканням. Принципова відмінність цих штамів в тому, що в них зусилля поперечного затискання  $Q$  не постійне, а змінюється пропорційно зусиллю різання. Коли зусилля відрізання  $P$  знижується до нуля, то знижується і зусилля затискання  $Q$ . Заготовка отримує можливість відійти в осьовому напрямку від прутка, що запобігає утворенню дефектів на торцях.

Принципова схема роботи штампа з диференційованим затиском прутка і відрізуваної частини наведена на рис. 3.32 [4, 79]. Штмп складається з двох абсолютно ідентичних комплектів відрізних систем, які є дзеркальним відображенням один одного і розташовані в штампі один за одним вздовж осі прутка (на рис. 3.32, верхній і нижній рядок).

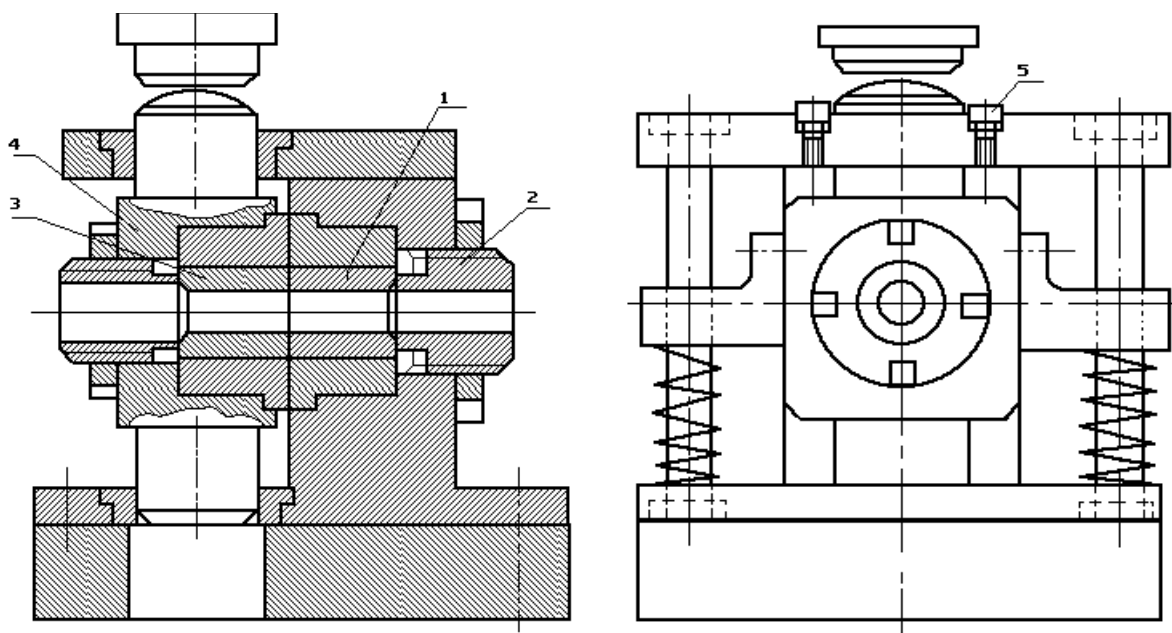


Рис. 3.31. Штмп для неповністю закритого відрізання прутка

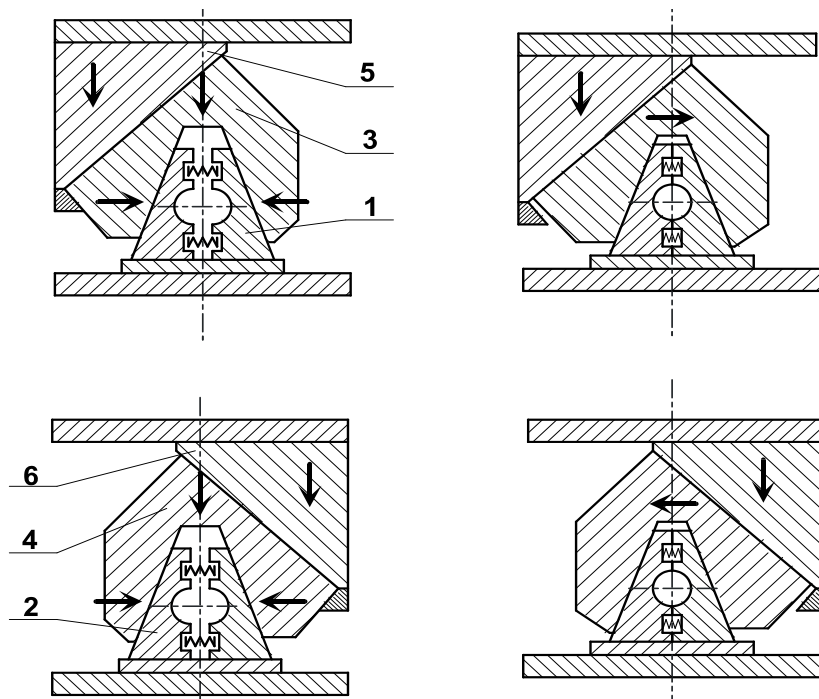


Рис. 3.32. Штмп для відрізання прутка з диференційним затисканням



Пруток затискається ножами – напіввтулками 1 і 2, які мають зовнішню форму клина. При ході повзуна преса вниз верхні клини 5 і 6 переміщують повзунки 3 і 4 спочатку вниз, потім горизонтально назустріч один одному. При русі вниз відбувається затискання прутка і заготовки в ножах-напіввтулках, а при їх горизонтальному зустрічному русі – виконується відрізання заготовки в умовах постійного затискання.

### **3.6. Калібрування заготовок**

Для усунення скосів і викривлень торців заготовки, створення центруючих заглиблень і фасок на паралельних торцях, наближення форми і розмірів заготовки до порожнини матриці, утворення при необхідності буртів або фланців та поліпшення тим самим умов роботи інструменту і якості деталей заготовки, які відрізані в штампах, піддають калібруванню.

Основні способи калібрування:

- відкрите осадження;
- відкрите осадження і подальше закрите калібрування в різних штампах;
- закрите осадження в нерухомій матриці;
- закрите осадження в горизонтально рухливій матриці;
- радіальне видавлювання – висадка в рухомій матриці.

Після відкритого осадження заготовки не мають точних діаметральних розмірів, що призводить до нерівномірного витікання металу, різноспостинності деталей і погіршення умов роботи пуансона. Другий спосіб ефективний при використанні багатопозиційних штампів. Закрите осадження прийнятне при незначній (більше 12 %) різниці діаметрів заготовки і матриці. Варіанти способу закритого осадження наведено на рис. 3.33.

За четвертим способом можливе осадження з великим ступенем деформації без порушення осьової симетрії, так як підпружинена в горизонтальній площині матриця встановлена з можливістю переміщення в будь-якому напрямку під впливом заготовки, яка деформується.

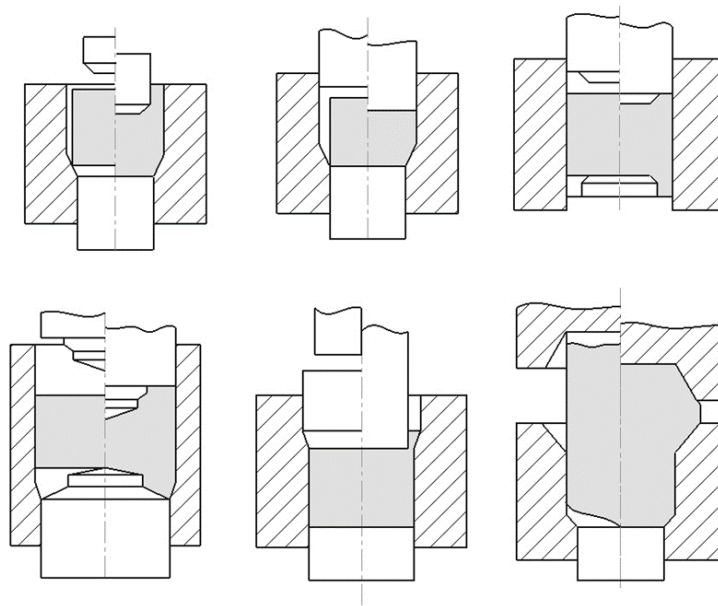


Рис. 3.33. Схеми калібрування способами осадження заготовки [3]

Спосіб радіального видавлювання можна застосовувати для калібрування з будь-яким ступенем деформації заготовки з нерівними торцями і скосами. Для цього способу розроблені штампи з рухливою матрицею, яка встановлюється на проміжній плиті [77], підтримуваній в початковому положенні пружинами (див. розділ 5). Наявність рухливої матриці дозволяє застосовувати високі вихідні заготовки і виключити втрату їх стійкості.

### 3.7. Підготовка заготовок до видавлювання

Підготовка заготовок до видавлювання включає операції, що забезпечують високу технологічну пластичність, сприятливу структуру, а також зменшення втрат на тертя при деформації шляхом поділу поверхонь заготовки і інструмента. Вона включає в себе відпал, очищення від окалини та інших забруднень, знежирення, травлення, нанесення підзмащувального шару і мастила, сушку.

Попередній і проміжний відпал (табл. 3.7) проводиться для підвищення штампувальності, зменшення твердості і зниження робочих навантажень на інструмент.

## Рекомендовані режими відпалу заготовок

Група сплавів	Марка сплаву	Температура нагрівання Т, °С	Витримка t, ч.	Охолодження	Твердість, НВ
Алюмінієві	А0	370–400	0,5	На повітрі	17
	АД	350–400	1,0	На повітрі	25,30,45
	(АД1), АМц, АМг	390–430	1,0	З піччю	45
	Д1				
Мідні	М2, М3	500–550	1,0	На повітрі	40
	Л-63,	600–640	1,0	На повітрі	56
	Л-68	580–620	1,0	На повітрі	55
	БрА5	620–670	1,0	На повітрі	60
Сталі	08, 10, 15, 15Х, 20Х,	740–760	3,0	З піччю	107–120
	30Х, 20	740–760	3,0	З піччю	115–128

**Підготовка поверхні заготовок**

Очищення поверхні заготовок після відпалу від окалини проводиться галтування в барабанах. При сильному забрудненні здійснюється промивання в гасі або розчиннику. Після цього заготовки промивають в холодній проточній воді протягом 0,5–1 хв, а потім знежирюють в розчині наступного складу (г/л): сода кальцинована – 70–80; їдкий натр – 80–100; тринатрійфосфат – 30–40; при температурі 70–80°С протягом 10–15 хв. Далі проводять промивання в гарячій воді і травлення в розчині, що містить (г/л): сірчаної кислоти – 110–160; натрієвої селітри – 20–30. Температура розчину 50–70°С, тривалість травлення 15–20 хв.

Після травлення – промивка в холодній і гарячій воді і нанесення підмастильного шару, який служить для поліпшення зчеплення мастила з поверхнею заготовки.

**Змащування заготовок**

Для отримання шару носія мастила заготовки з алюмінієвих сплавів піддають анодуванню протягом 20–25 хв в розчині сірчаної кислоти (190–

200 г/л) з температурою 20–25°C. Для заготовок з мідних сплавів здійснюють пасивування в розчині, який містить (г/л): хромового ангідриду – 150–200; сульфату амонію – 75–100 при температурі 25–30°C.

Мастильним матеріалом після анодування і після пасивування служить кістковий тваринний жир, суміш бджолиного воску і циліндрового масла (в співвідношенні 1:3). Як мастильний матеріал для мідних і алюмінієвих сплавів успішно застосовують 30%-ву суміш стеарату цинку в тваринному жирі.

Для сталевих заготовок найбільш прийнятним є створення на поверхні пористого фосфатного підмастильного шару, що володіє ефективними змащувальними властивостями, здатного до міцного зчеплення з металом заготовки та утримування мастила-наповнювача. У табл.3.8 наведені два варіанти технології фосфатування [5, 7], з яких перший дає хороші результати при видавлюванні глибоких стаканів, а другий – при штампуванні матеріалів з високим опором деформації.

Після фосфатування заготовки промивають холодною, а потім гарячою водою, обмилюють в розчині 72%-го господарського мила (50–60 г/л) або просочують стеаратом Т2, НБ5 (70–90 г/л), при температурі ванни 60–70°C протягом 10 хв, сушать гарячим повітрям протягом 5–7 хв. Кращим мастильним матеріалом для сталевих заготовок є плівка з господарського мила.

Таблиця 3.8

Варіанти фосфатування сталевих заготовок

Номер варіанту	Компоненти	Масова концентрація, г/л	Режим обробки	
			T, °C	t, хв
I	Сіль мажеф	40	75-85	15
	Азотнокислий цинк	60		
	Натрій фтористий	3–5		
II	Окис цинку	25	45	10
	Кислота ортофосфорна	27		
	Кислота азотна	37		
	Сода кальцинована	5		
	Нітрит натрію	0,2		

#### 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСАХ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Процесам видавлювання притаманні обмеження і недоліки, серед яких можна виділити характерні дефекти деталей, які істотно впливають на якість штампованих виробів [2–8].

Параметри, що визначають якість деталей, отриманих холодним видавлюванням, можна розділити на 5 великих груп: відхилення форми і розташування поверхонь деталей, неточність розмірів, якість поверхні, нерівномірність деформованого стану, а також тріщини і руйнування. Серед них найбільш поширеними і тими, що обмежують технологічні можливості процесів, можна вважати відхилення форми і тріщини. При цьому, вони є характерними для більшості способів видавлювання, хоча є і дефекти, властиві тільки окремим схемами деформування. Більшість даних дефектів з'являються внаслідок недосконалості умов деформування і конструкції інструменту та вимагають теоретичного і експериментального вивчення, особливо стосовно до нових способів деформування. Визначення критичних з точки зору дефектоутворення параметрів процесу дозволить оцінити можливість розширення сфери застосування технологій видавлювання.

Загальновизнаним і характерним дефектом для процесів холодного видавлювання, що знижує якість деталей і технологічні можливості процесу, є відхилення форми у вигляді утягнень, які утворюються в зоні формування фланця [8, 20, 73]. Залежно від схеми видавлювання дефекти подібного роду можуть виникати як на різних стадіях процесу, так і в різних зонах деталі, що формується (рис. 4.1). Для процесу зворотного видавлювання деталей типу стакан характерною є поява утягнення у вигляді відходу металу в донній частині біля стінки матриці на заключних стадіях процесу при товщині дна менше, ніж товщина стінки порожнистої частини (див. рис. 4.1, схема 1). Так само на заключній стадії можливе відшарування металу від торця пуансона при прямому видавлюванні втулки при товщині

фланця меншій, ніж товщина стінки порожнистої частини (схема 2). При радіальному видавлюванні відносно товстих фланців на кінці або в середній частині трубчастої заготовки (схема 3) на початковій стадії характерним дефектом є роздача отвору в зоні фланця, який формується, з утворенням утягнення.

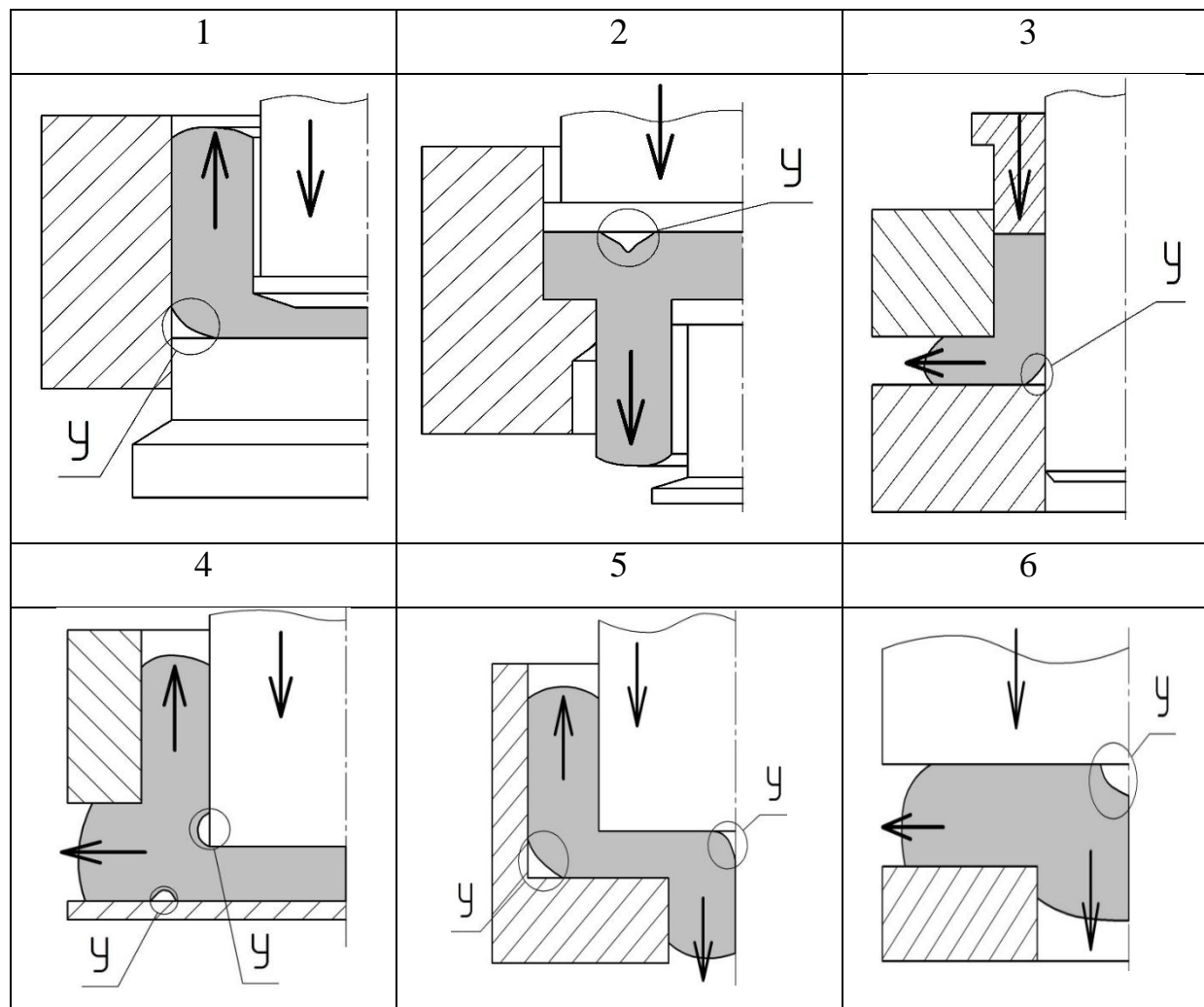


Рис. 4.1. Схеми утворення дефектів типу утягнень

Механізм утворення утягнень при комбінованому видавлюванні подібний до закономірностей, властивих поєднаним простим схемам поперечного та поздовжнього видавлювання. При комбінованому радіально-зворотному видавлюванні утягнення виникають в порожнині або зовні на дні стакану (схема 4). Утягнення виникають через випереджальну течію зовнішніх шарів стінки стакану або внутрішніх шарів біля стрижня при

прямому видавлюванні (див. рис. 4.1, схеми 5 і 6; рис. 4.2, а). Установчі фізичні та комп'ютерні експерименти дозволяють виявити характер відхилень форми деталей, отриманих різними способами видавлювання.

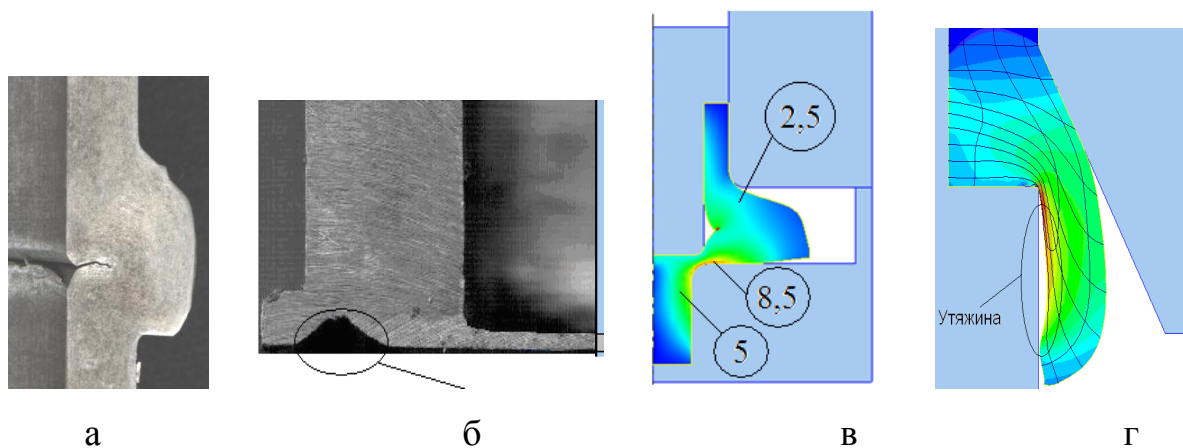


Рис. 4.2. Дефекти форми типу утягнень у деталей, які отримані за різними технологічними схемами

Для процесу радіального видавлювання фланців характерними дефектами, крім викривлення форми фланців, є і утягнення, які з'являються на внутрішній поверхні порожнистої заготовки (див. рис. 4.2, б; рис. 4.3, п. 1) при значеннях висоти приймальної порожнини, що перевищують товщину стінки трубчастої заготовки.

Дефекти типу внутрішніх утягнень (прострелів) при комбінованому видавлюванні (див. рис. 4.2, в) виникають переважно через інтенсивну радіальну течію металу при наближенні пуансона до зони розташування фланця. Утягнення у вигляді неприлягання зовнішнього контуру деталі до поверхні матриці є характерним дефектом форми також і для процесу радіально-прямого видавлювання на конусній оправці (див. рис. 4.2, г). SE-моделі процесів видавлювання показують досить близькі до дослідних відхилення форми деталей. Прогнозування утворення дефектів у вигляді утягнень при радіальному і прямому видавлюванні за допомогою MCE-моделей (див. рис. 4.3 і рис. 4.4) дозволяють встановити область раціональних параметрів деталей.

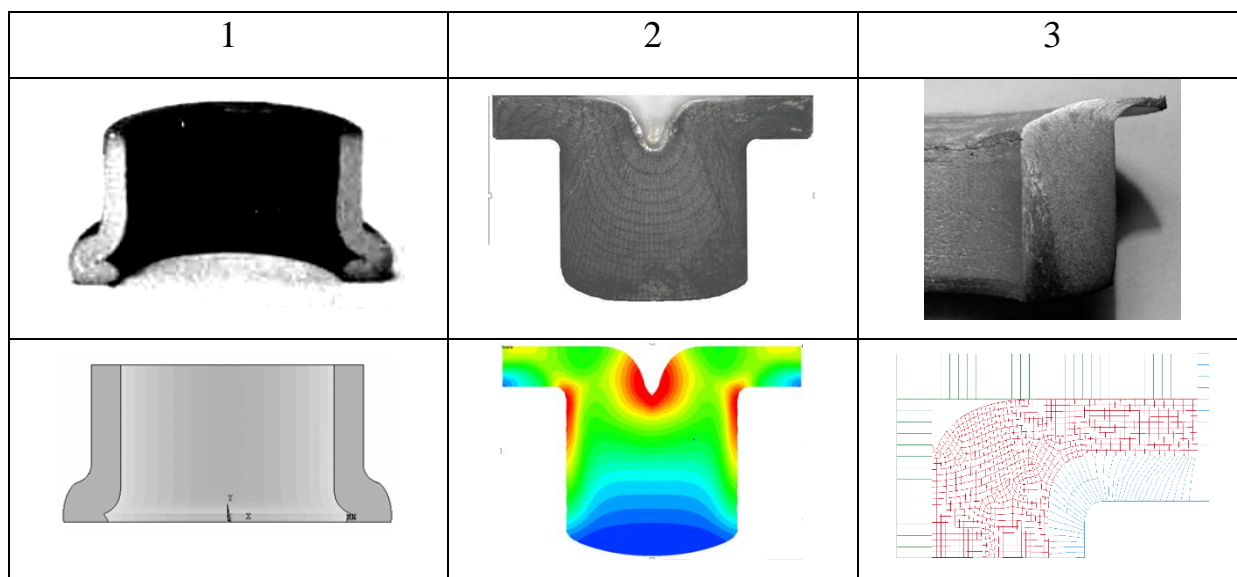


Рис. 4.3. Зіставлення результатів експериментальних і комп'ютерних досліджень прогнозування дефектів типу утягнень

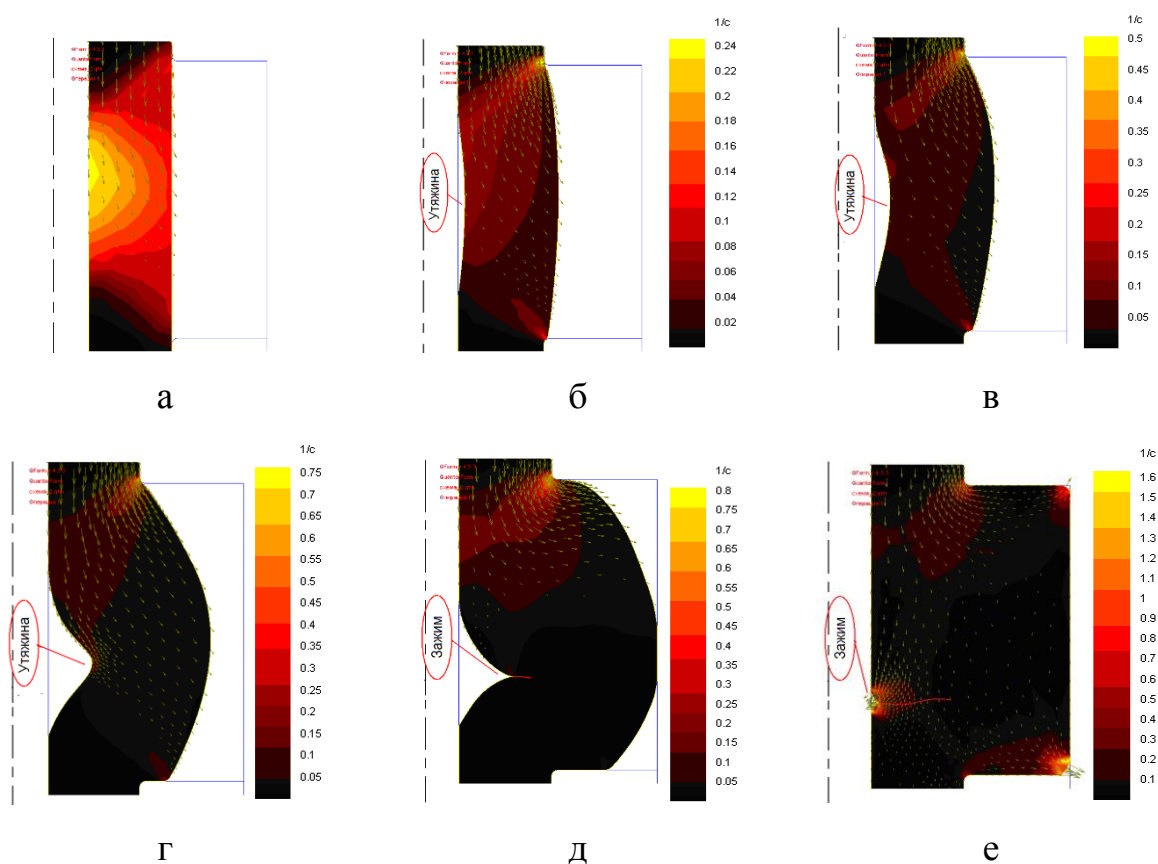


Рис. 4.4. Послідовність утворення дефектів типу утягнень і складок в процесі радіального видавлювання фланця на порожнистій заготовці



Моделювання процесу комбінованого видавлювання в роз'ємних матрицях (рис. 4.5) проводилося з урахуванням наступних параметрів: механічні властивості матеріалу заготовки АДЗ3 (крива зміцнення –  $\sigma_s(\varepsilon) = 248,8 \varepsilon^{0,15}$ ; межа текучості  $\sigma_{0,2} = 105$  МПа). Видавлювання деталей з відносно високими фланцями супроводжується появою внутрішнього утягнення в зоні формування фланця. Обробка результатів комп'ютерного моделювання дозволила побудувати діаграму, на якій область вище кривої відповідає зоні утворення дефектів типу утягнень. Слід зазначити, що запобігання цього виду утягнень становить значну складність, обумовлену недоступністю зони появи дефекту. Подальше усунення дефекту деталей, який виникає, можливо шляхом висадки фланця після завершення видавлювання.

Дефекти деталей розглянемо у вигляді узагальненої класифікації, наведеної в роботі [8] і складеної за способами деформування і видами дефектів (рис. 4.6) на підставі робіт з видавлювання [2–8, 24].

Способам поздовжнього видавлювання (див. рис. 4.6, ряди *A* і *B*) притаманні відхилення форми (утягнення), неспіввісності порожнини, викривлення стрижня, а також поява дрібних тріщин («ялинки»), викликаних нерівномірністю течії металу [6, 31].

У ряду *C* наведені види дефектів типу відхилень форми і розривів, характерні для процесів видавлювання деталей з фланцями, а в наступних рядах – дефекти деталей, отриманих комбінованим радіально-поздовжнім видавлюванням (ряд *D*), комбінованим поетапним видавлюванням (*E*) і дефектів у вигляді тріщин і розривів (ряд *F*).

Формоутворення деталей з фланцями при комбінованому і радіальному видавлюванні відрізняється рядом особливостей. Характерними дефектами для цих процесів є відхилення форми фланців (*C1–C4*).

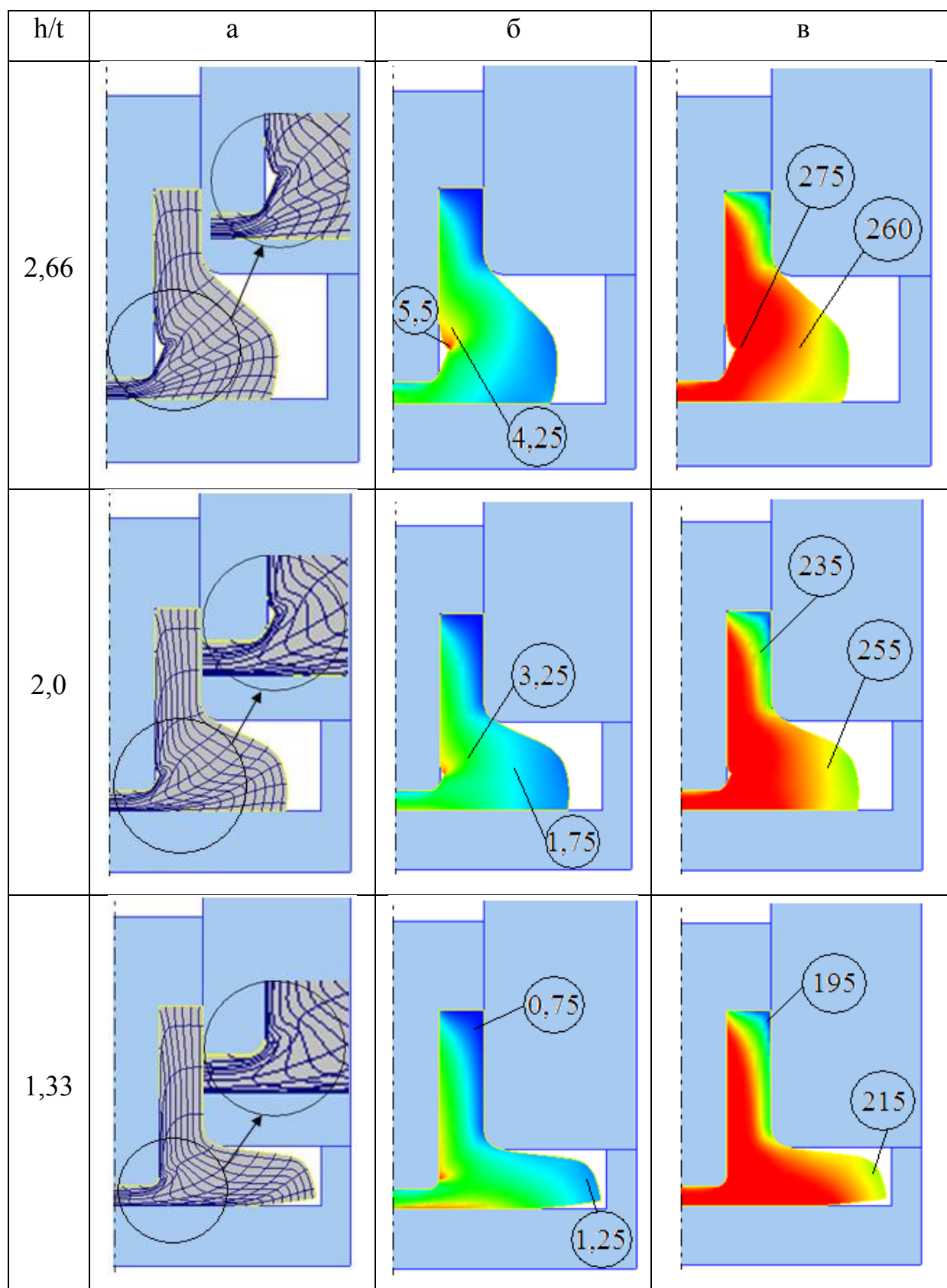


Рис. 4.5. Деформування ділильної сітки (а), розподіл інтенсивності деформацій (б) і інтенсивності напружень у МПа (в) при комбінованому видавлюванні

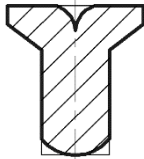

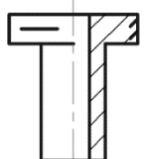
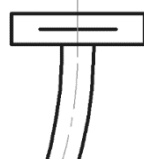
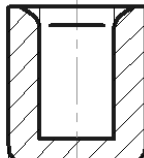
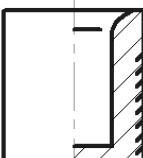
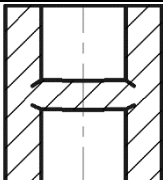
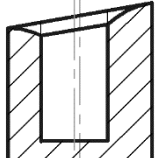
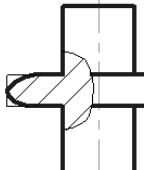
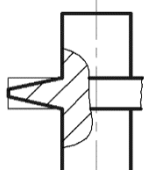
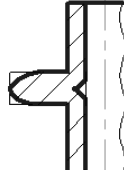
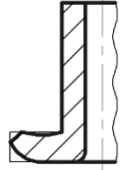

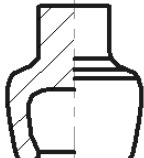
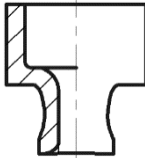
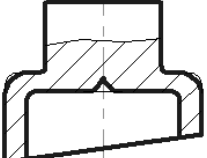
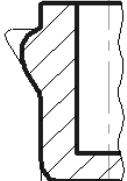
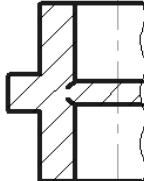
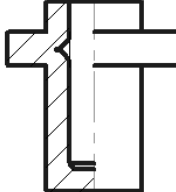
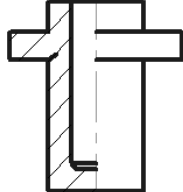
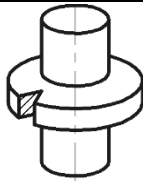
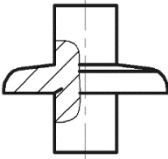
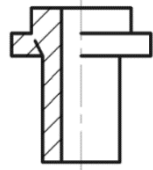
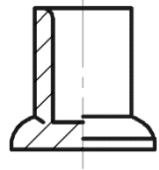
	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				
F				

Рис. 4.6. Узагальнення видів дефектів деталей, які характерні для процесів холодного видавлювання

При радіальному видавлюванні металу в кругову порожнину постійної висоти товщина фланця, який видавлюється, в міру віддалення від стрижня безперервно зменшується. Деталі з відносно тонкими фланцями (при  $\bar{h} = h/R_0 = 0,3..0,4$ ) та невеликими розмірами ( $\bar{R}_1 = R_1/R_0 \leq 1,3$ ) можна отримати без помітного викривлення. При менших і більших значеннях  $\bar{h}$  потоншення фланця призводить до викривлення його форми і зменшення ступеня заповнення металом робочої порожнини. При видавлюванні з односторонньою подачею фланець набуває грибовидної форми. При видавлюванні з поєднаною двосторонньою подачею потовщення мають симетричну клиновидну форму з товщиною біля кромки, яка зменшується при збільшенні діаметра фланця.

Формоутворення фланців при комбінованому видавлюванні має деякі відмінності в порівнянні з видавлюванням фланців на суцільних заготовках.

Це стосується і якісно нової форми отримуваних фланців, які формуються як в середній частині, так і на кінці трубчастих заготовок. Неприлягання фланців до опорної поверхні – торця нижньої напівматриці при комбінованому видавлюванні порожнистих деталей типу стакану більше, ніж на стрижневій деталі. Максимальний діаметр периферії торцевого фланця точно і по всій поверхні прилягає до торця нижньої напівматриці при середніх значеннях відносною товщини фланця ( $0,4 \leq \bar{h} \leq 0,8$ ). Крім утягнень для видавлених деталей характерні і такі дефекти, як викривлення, неприлягання, неповне заповнення елементів форми, затиски, тріщини, розриви та ін. Наприклад, для комбінованого радіально-прямого видавлювання з обтисненням на оправці притаманний дефект у вигляді викривлення форми торця деталі, яка штампується (рис. 4.7), для усунення якого необхідна підготовка заготовки з профільованим торцем. Експериментально-аналітичним шляхом була підібрана заготовка у вигляді втулки з фаскою на внутрішній поверхні, величина якої дорівнює половині товщини стінки втулки.

Характерні види дефектів і відхилень форми деталей, отримані за різними схемами комбінованого видавлювання, наведені як на рис. 4.6 (ряди *D* і *E*), так і на рис.4.8 і 4.9.

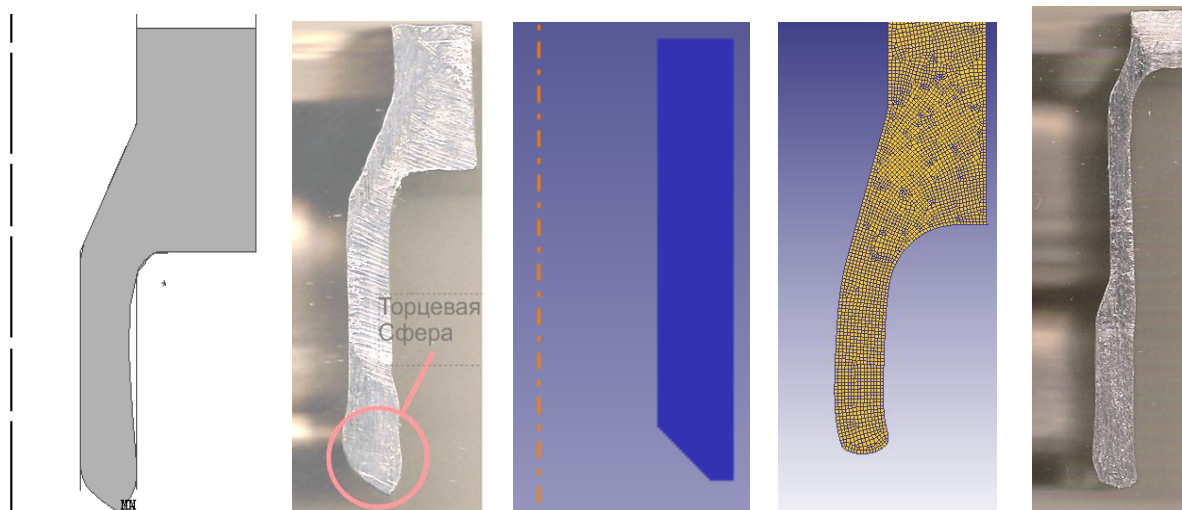


Рис. 4.7. Дефект «торцева сфера», спеціально підготовлена заготовка і деталь, що отримана радіально-прямим видавлюванням



Рис. 4.8. Дефекти у вигляді викривлення відростка і складок у процесі радіально-прямого видавлювання з обтисненням



Рис. 4.9. Дефекти форми деталей, отриманих радіально-зворотним видавлюванням

Утягнення у вигляді неприлягання зовнішнього контуру деталі до поверхні матриці є характерним дефектом форми, як було зазначено, для процесу радіально-прямого видавлювання (див. рис. 4.6, *D2*, *D3* і див. рис. 4.2, г). Експериментально встановлено, що величина утягнення залежить від багатьох факторів, одним з яких є форма перехідної кромки матриці. При використанні матриць з радіусною кромкою вдається знизити величину утягнення в кілька разів. При видавлюванні з обтисненням особливий вплив має кут нахилу твірної оправки. При зменшенні кута нахилу твірної оправки величина утягнення зменшується через збільшення величини підпору з боку оправки. У процесі послідовного поперечно-прямого видавлювання з роздачею поява утягнень (див. рис. 4.6, *D4*) на дні порожнини пов'язана з нерівномірністю витікання металу по висоті поперечної порожнини.

Фланці, розташовані біля верхніх кромek або в середній частині деталі, не заповнюються через недостатню кількість металу, що витісняється пуансоном при формуванні порожнистої частини (див. рис. 4.6, *E1*). Однією з причин цього є і передчасна зміна стадій поперечного і зворотного витікання при поетапному комбінованому видавлюванні.

Дефект у вигляді викривлення порожнистого відростка (див. рис. 4.8) з'являється внаслідок нерівномірного розподілу тертя на поверхні інструменту, що вимагає підготовки заготовки і забезпечення рівномірного нанесення мастила. Дефекти типу затисків (див. рис. 4.9) виникають в процесі радіально-прямого видавлювання при видавлюванні товщини стінки більшої, ніж 90% від товщини стінки заготовки. Цей дефект виникає внаслідок інтенсивної течії металу і свідчить про наявність застійних зон.

Руйнування деталей при видавлюванні є неприпустимим дефектом, що знижують стабільність і можливості технології деформування.

При радіальному видавлюванні фланців, як в простому процесі, так і в комбінованих процесах, руйнування кромek фланців викликане вичерпанням запасу пластичності металу, що зазнає розтягування в коловому

напрямку (див. рис. 4.6, схема *F1* і рис. 4.10, поз. *1a, 2a*). При суміщеному видавлюванні границі розділу течії металу нерідко стають траєкторіями тріщин. При поперечно-зворотному видавлюванні стакану руйнування можливе, якщо товщина його дна менше товщини фланця (схема *F4*). Вивільнення матриці в заключній стадії запобігає такому руйнуванню. Для схем поєданого поперечно-прямого видавлювання небезпечне раннє формоутворення фланця (або відростка), який потім перетворюється в застійну зону (див. рис. 4.6, *F3*). Для поетапного видавлювання стаканів з фланцем характерне відділення фланця або дна, викликане неузгодженістю руху матриці або протипуансона (схема *E4*).

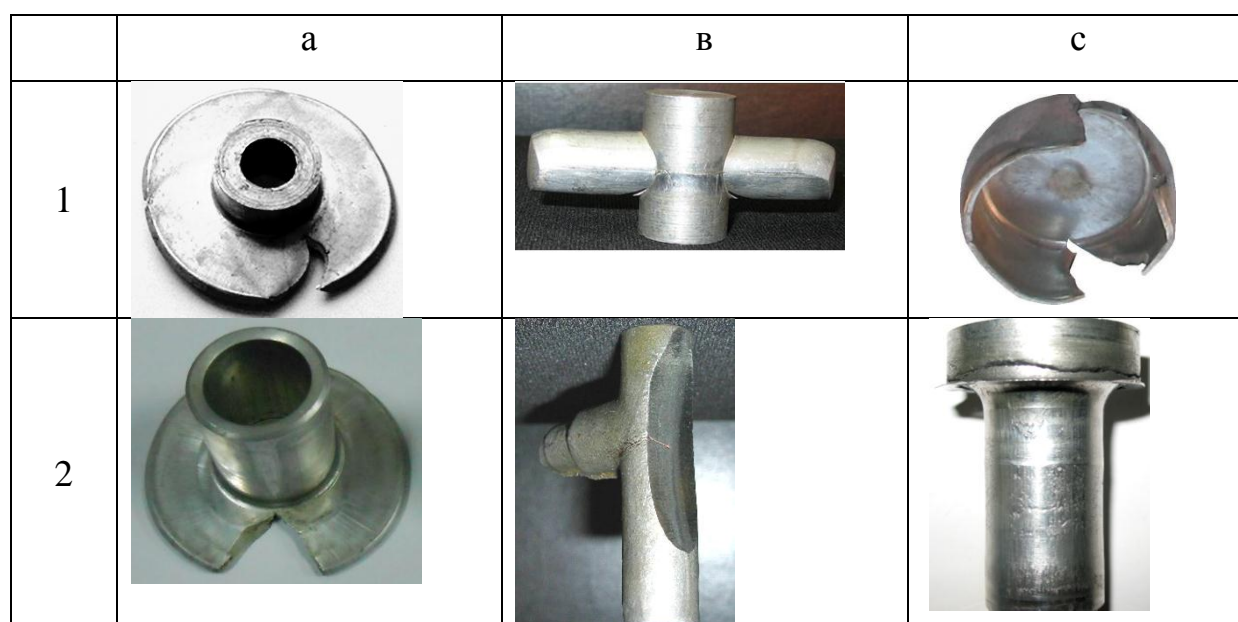


Рис. 4.10. Дефекти у вигляді руйнувань при радіальному і комбінованому (а), боковому (в) і комбінованому радіально-прямому видавлюванні з роздачею і обтисненням (с)

Руйнування деталей, отриманих одностороннім бічним і радіальним видавлюванням, є наслідком нерівномірного заповнення порожнини і утворення поверхні зі значними зсувними деформаціями на нижній границі осередку деформації. При боковому видавлюванні відростків таку нерівномірність деформації не витримують навіть заготовки з високопластичних алюмінієвих сплавів (див. рис.4.10, поз. *1в, 2в*).

Руйнування деталей типу гільз і стаканів, отримуваних радіально-прямим видавлюванням з роздачею, викликане вичерпанням ресурсу пластичності металу на етапі радіального видавлювання фланця (див. рис. 4.10, 1с). Дефекти у вигляді тріщин виникають і в процесі радіально-прямого видавлювання з обтисненням при утворенні застійних зон в нижній частині порожнини матриці і виникненні великих зсувних деформацій на границі осередку деформації і вичерпання ресурсу пластичності металу (див. рис. 4.10, 2с).

### ***Нерівномірність деформованого стану заготовок при холодному видавлюванні***

Задача отримання якісної продукції вимагає забезпечення максимально можливої рівномірності деформації заготовки при одночасному значному опрацюванні структури, подрібненні зерна та ізотропному (по можливості) зміцненню металу [3–6, 24]. Нерівномірність розподілу деформацій в пластично деформованій заготовці може викликати не тільки розглянуті вище відхилення форми деталей, але й небажане вичерпання ресурсу пластичності і руйнування заготовки в процесі деформування [67].

Деформований стан заготовки в процесах видавлювання деталей з фланцем досліджували МСЕ і за допомогою методів твердості і ділильної сітки.

Для дослідження процесу зворотного видавлювання порожнистого виробу пуансоном з конічним торцем використовували заготовки ( $D_z = 40$  мм,  $H_z = 50$  мм) зі сталі AISI 1010 ( $\sigma_{0.2} = 300$  МПа) [74]. Коефіцієнт тертя  $\mu = 0,08$ . Моделювання виконували з застосуванням МСЕ-програми DEFORM. При видавлюванні зі ступенем деформування  $\varepsilon = 10\%$  має місце значна нерівномірність деформації і пропрацювання структури металу по ширині стінки виробу. Отримано значення  $\varepsilon_i = 1,4$  в прошарках металу, що знаходяться поблизу порожнини, і  $\varepsilon_i = 0,18$  на середині стінки виробу. Зовнішні прошарки металу в стінці стакану практично не деформуються.



Формоутворення порожнистих виробів з  $\varepsilon = 40\%$  призводить до досягнення величини  $\varepsilon_i = 1,5$  в прошарках металу поблизу порожнини і  $\varepsilon_i = 0,65$  в зовнішніх прошарках металу стінки виробу. Інтенсивне пропрацювання металу пластичною деформацією по ширині стінки виробів відбувається при видавлюванні зі ступенем деформації  $\varepsilon = 50\%$  і вище.

При холодному зворотному видавлюванні порожнистих виробів відбувається розігрівання деформованого металу. Визначення температури при формозміні дозволить уточнити вимоги до мастил для видавлювання. Температура деформованого металу в кінці видавлювання зі ступенями деформації  $\varepsilon = 10, 40$  і  $80\%$  приведена на рис. 4.11. При видавлюванні з  $\varepsilon = 10\%$  температура в осередку деформації досягає значень в межах  $110^\circ \dots 120^\circ$  (рис. 4.12). В стінці деформованої заготовки температура підвищується до  $38^\circ \dots 62^\circ$ . Формоутворення з  $\varepsilon = 40\%$  призводить до зростання температури до  $130^\circ \dots 170^\circ$  в осередку деформації, а при ступені деформування  $\varepsilon = 80\%$  розігрівання металу доходить до температур  $309^\circ \dots 350^\circ$  в місці переходу донної частини в стінку і в  $165^\circ \dots 245^\circ$  в стінці стакану.

Підбір схем видавлювання в багатоперехідному процесі або при комбінованому видавлюванні, проведений з урахуванням характеру розподілу деформацій, може бути ефективним методом зниження нерівномірності деформації заготовки.

На рис. 4.13 схематично показаний ефект від сумарного додавання накопичених деформацій при послідовному деформуванні на операціях безвідходного наскрізного прошивання втулки і подальшого її прямого видавлювання. Коефіцієнт нерівномірності при цьому знижується відчутно, оскільки на першій операції прошивання (зворотного видавлювання) найбільшу деформацію зазнають внутрішні прошарки стінки втулки, а на другій операції – зовнішні прошарки. Кількісна оцінка цього ефекту підтверджує можливість отримання рівномірно деформованих втулок. Спосіб виготовлення деталей типу втулок комбінуванням наскрізного прошивання і

подальшого прямого видавлювання на оправці, за яким напівфабрикат після прошивання перед прямим видавлюванням кантують на  $180^{\circ}$  супроводжується також зниженням утягнень (скосів) на торцях втулок [75].

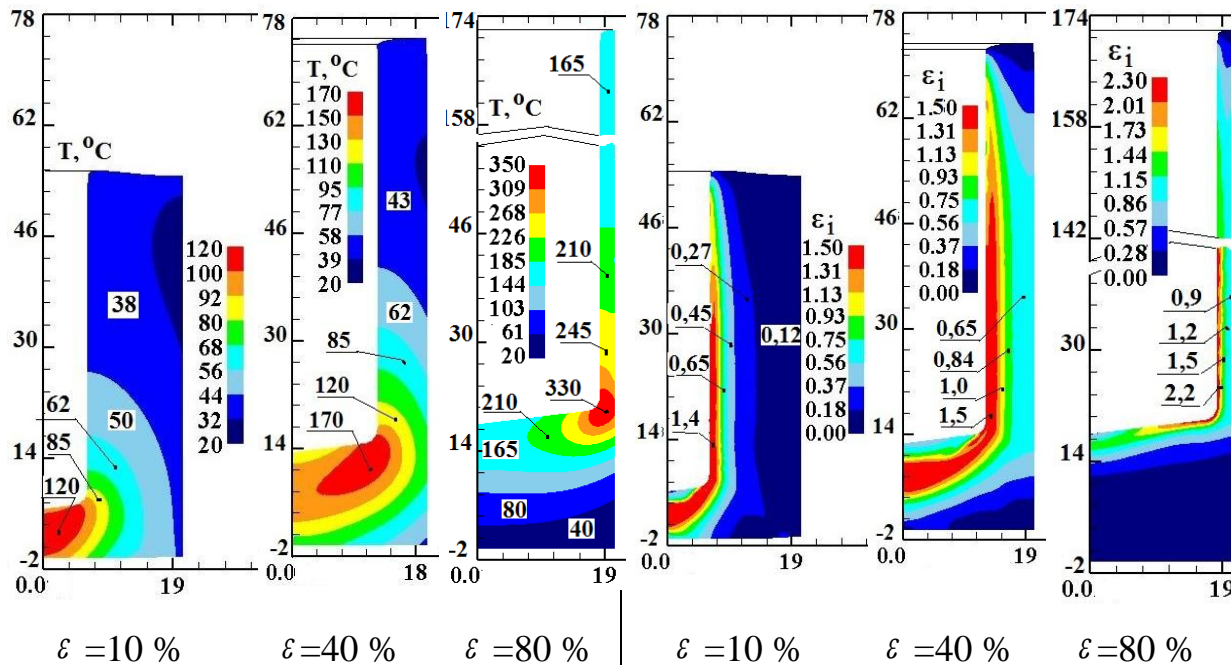


Рис. 4.11. Температура деформованого металу

Рис. 4.12. Розподіл інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$

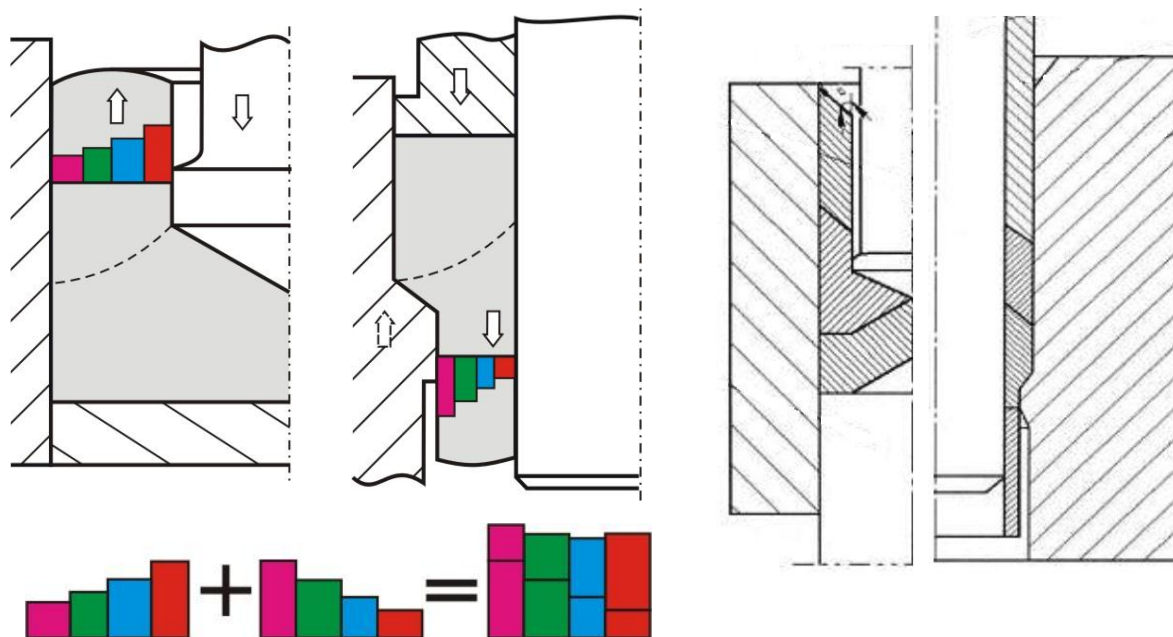


Рис. 4.13. Складання нерівномірностей деформації при обробці прошиванням-видавлюванням і спосіб безвідходного отримання втулок

При поперечному (радіальному і боковому) видавлюванні сильний вплив на характер розподілу деформацій по висоті осередку деформації надає кінематична схема подачі металу. Різницю в деформованому стані деталей, отриманих видавлюванням з односторонньою подачею металу (одностороннє видавлювання) і двостороннім видавлюванням можна продемонструвати на прикладі викривлення ділильної сітки, нанесеної на заготовку перед поперечним видавлюванням (рис. 4.14). При односторонньому поперечному (як бічному, так і радіальному) видавлюванні осередок інтенсивної деформації має несиметричну форму. Зона максимальної деформації і, відповідно, зона максимального зміцнення зміщуються до нижньої границі осередку деформації, на якій відбувається різкий стрибок ступеня деформації металу. При двосторонньому видавлюванні осередок деформації (ОД) розташовується в середній частині заготовки і симетричний відносно вертикальної і горизонтальної осей заготовки, а отримані фланці відповідно мають симетричну клиноподібну форму з товщиною біля кромки, яка зменшується по мірі збільшення діаметра фланця. Дана схема деформування більш сприятлива з точки зору якості отриманого виробу і силового режиму. Але при двосторонньому поперечному видавлюванні осередок деформації має меншу висоту і об'єм, що може бути в ряді випадків недоліком, оскільки на перехідних навантажених ділянках метал може бути недостатньо зміцненим.

При односторонньому видавлюванні осередок деформації розташований нижче центральної осі відростків, хоча по висоті ОД і дещо більше, ніж при двосторонньому видавлюванні. Зона максимальної деформації прилягає до нижньої границі ОД.

Аналогічні результати нерівномірності деформацій отримані і при дослідженні методом вимірювання твердості [76]. Суцільна заготовка з міді М1 висотою 31 мм і діаметром 15,2 мм піддавалася радіальному видавлюванню з односторонньою і двосторонньою подачею металу заготовки в робочу порожнину. Значення висоти порожнини під фланець приймалося рівним  $h = 7$  мм, хід для односторонньої і двосторонньої подачі приймався  $S = 10,7$  мм.

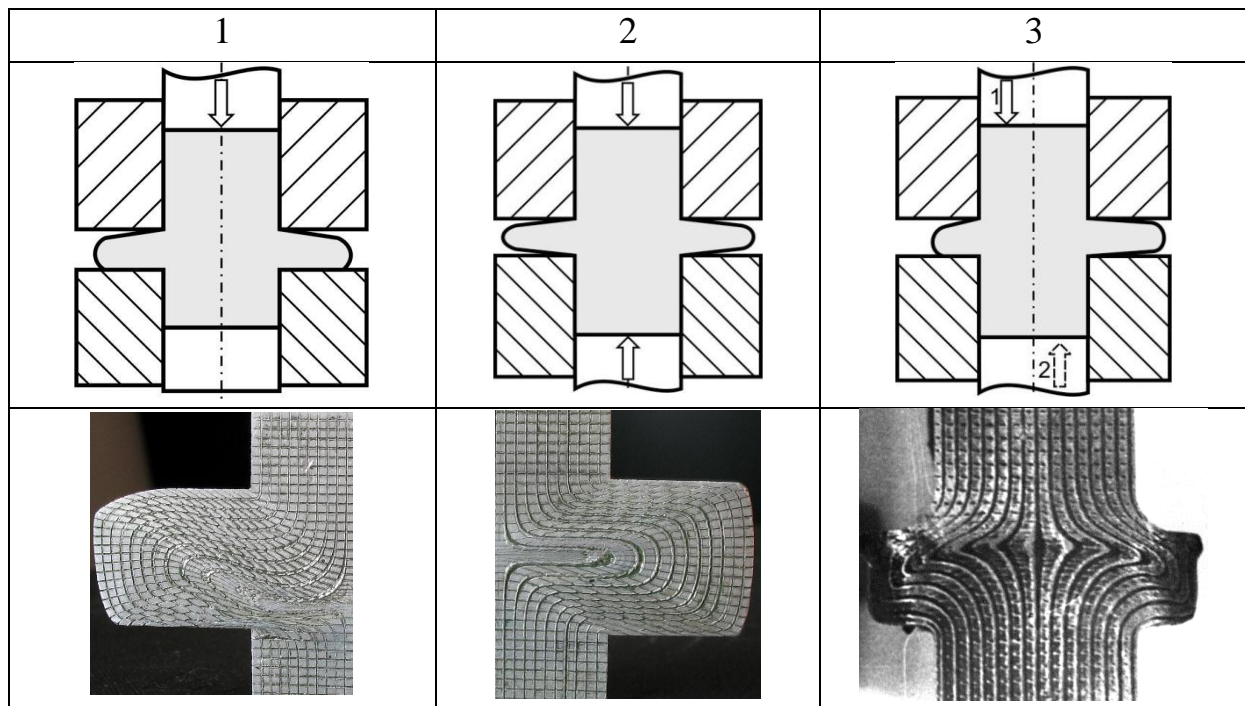


Рис. 4.14. Схеми деформування і зразки, отримані одностороннім, двостороннім і послідовним двостороннім видавлюванням металу [8]

Після видавлювання в меридіональній площині зразка виміряли твердість за Віккерсом  $HV10$  і, використовуючи тарувальні графіки, отримали ізолінії інтенсивності напружень  $\sigma_i$ . Розподіл інтенсивностей напружень  $\sigma_i$  порівнювали з рішенням МСЕ-моделі. Як видно з рис. 4.15, зона максимального зміцнення при односторонній подачі металу, як і зона максимального напруження, примикає до нижньої границі осередку деформації. Найбільше зміцнення набувають частки металу, розташовані в перехідній (з центральної зони під фланець) зоні деталі. А при двосторонній подачі металу максимальне зміцнення і зона максимального напруження знаходяться в центрі осередку деформації. При двосторонній подачі розподіл напружень в осередку симетричний на всіх стадіях видавлювання, а пік значень інтенсивності напружень приходить на горизонтальну вісь симетрії. Для одного і того ж значення ходу пуансона величина інтенсивності напружень для двостороннього деформування вище, ніж при видавлюванні з односторонньою подачею.

Аналіз деформованого стану в процесі видавлювання оперативно можна проводити і з використанням методу верхньої оцінки. Причому для розрахунку накопиченої деформації на основі розривних полів швидкостей можуть бути використані складові вирази для приведеного тиску без необхідності встановлення нормальних компонент швидкостей [21, 56].

При поперечному видавлюванні найбільшій деформації піддаються шари металу, що прилягають до центру відростка, який видавлюється. При видавлюванні без конічної перехідної ділянки, тобто безпосередньо на виході з контейнера в бічну порожнину висотою  $h_2$  (модуля А), коефіцієнт нерівномірності деформації знаходиться в межах від 1,7 до 2,3 (рис. 4.16).

Нерівномірність деформації на виході з модуля А обумовлена тим, що метал в центральних зонах при видавлюванні перетинає більше число границь розриву швидкостей (шлях деформування довше), ніж в периферійному каналі, де перетинаються лише дві границі [8, 21].

Після проходження металом конічної ділянки (модуля В) і обтиснення по висоті (від  $h_2$  до  $h_1$ ) нерівномірність деформації помітно знижується, оскільки деформація при проходженні ділянки супроводжується нерівномірністю зворотного порядку. При обтисненні, як при прямому видавлюванні, велику інтенсивність деформації набувають периферійні шари. При додаванні таких послідовних нерівномірностей деформацій виходить більш рівномірне за перерізом відростка С пропрацювання металу. Коефіцієнт нерівномірності знижується до 1,15 і менше. Спосіб поперечного видавлювання з обтисненням відростка, який видавлюється, може бути ефективним засобом отримання високоякісних металовиробів.

Для поліпшення експлуатаційних властивостей навантажених виробів необхідне кероване формування структури перехідних зон (типу гателів) з метою запобігання утворенню текстури або вичерпання ресурсу пластичності. Різні поєднання рухів і навантажень пуансонів дозволяють регулювати положення зони максимального зміцнення металу по висоті осередку деформації [8].

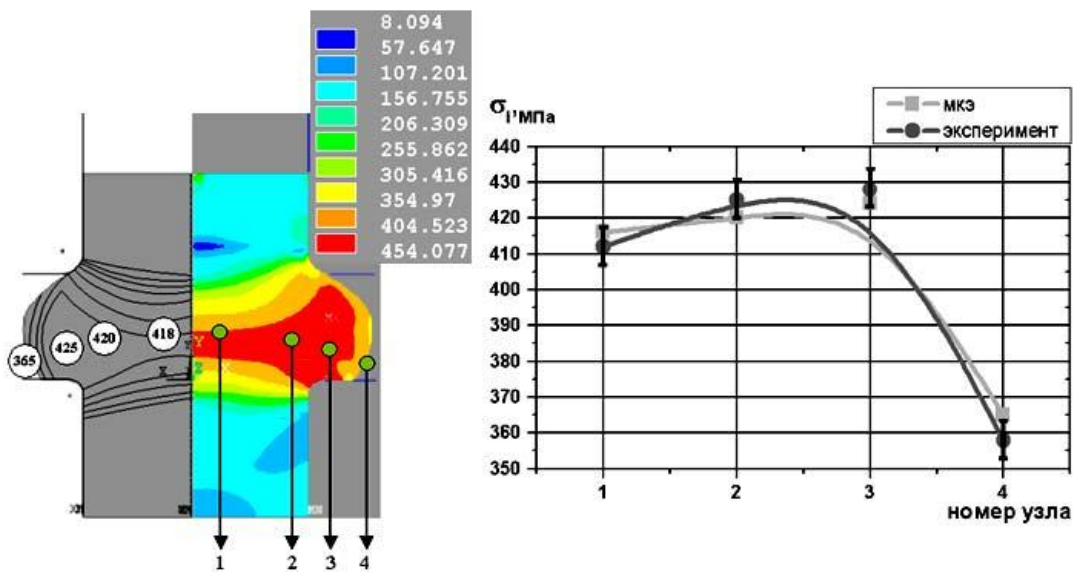
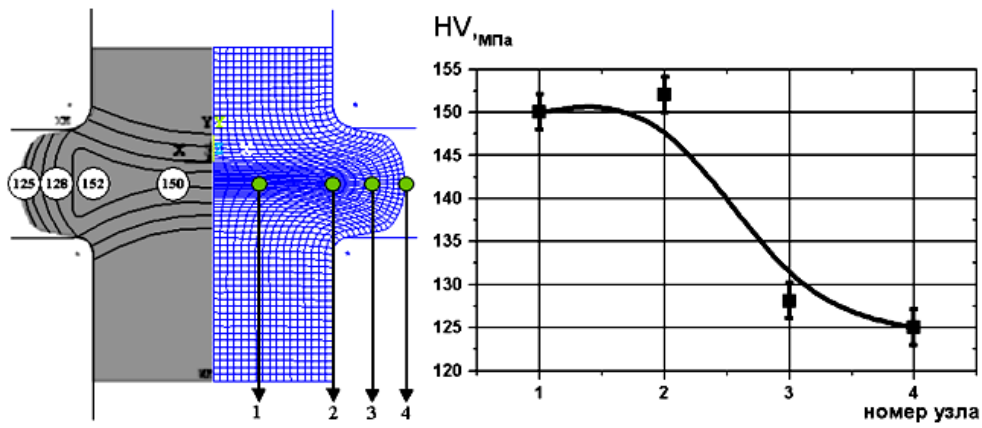
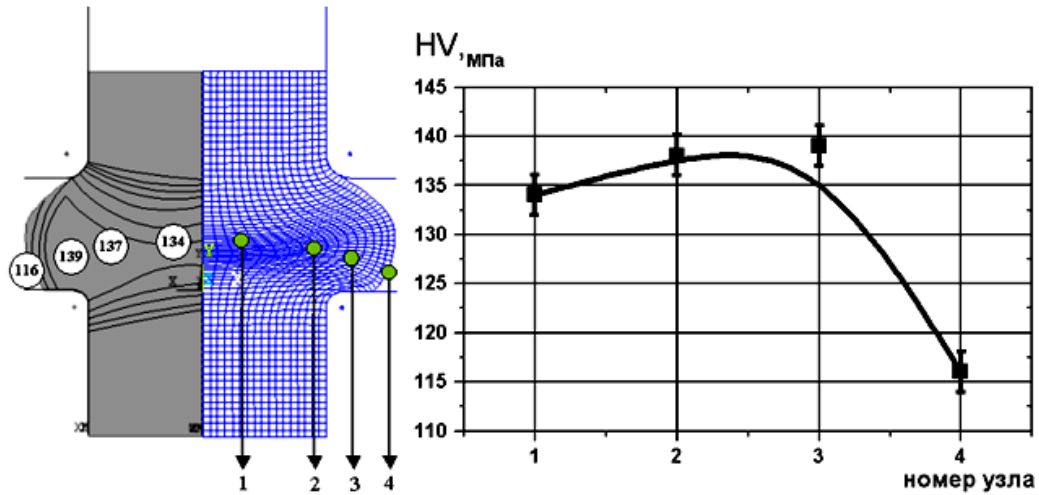


Рис. 4.15. Аналіз напружено-деформованого стану при радіальному видавлюванні методами вимірювання твердості і МСЕ (аркуш 1)

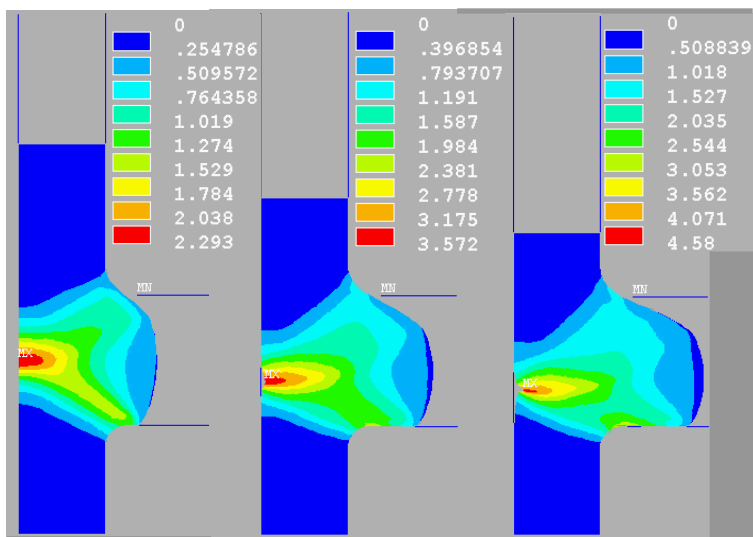
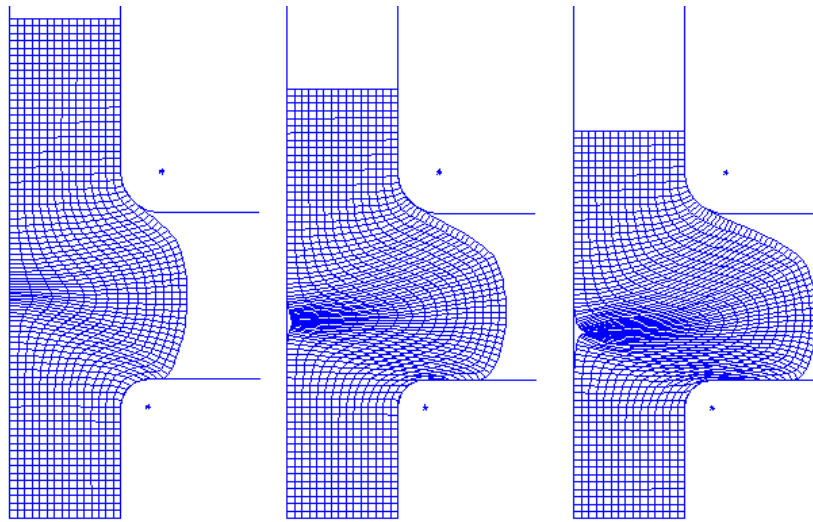
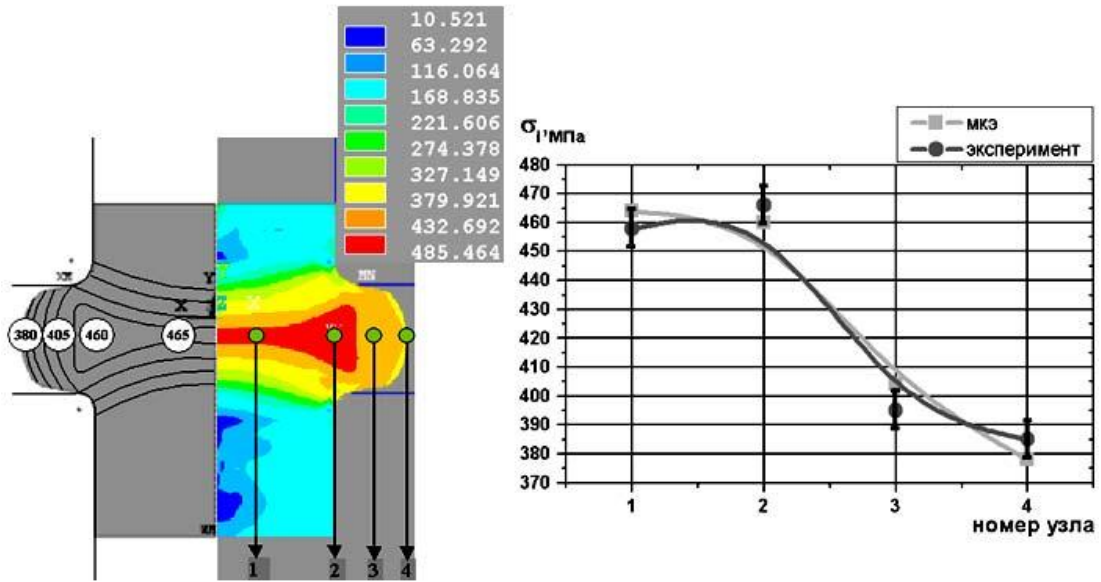


Рис. 4.15. Аналіз напружено-деформованого стану при радіальному видавлюванні методами вимірювання твердості і МСЕ (аркуш 2)

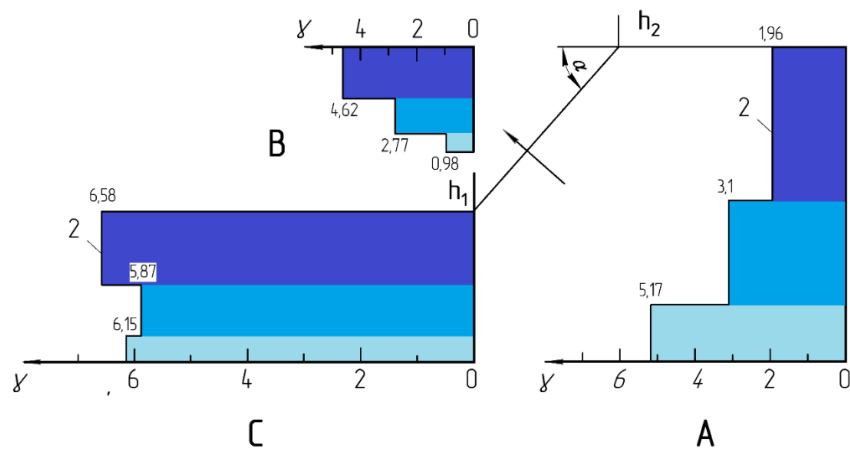


Рис. 4.16. Підвищення рівномірності деформованого стану при поперечному видавлюванні

При дослідженні процесу суміщеного радіально-прямого видавлювання було встановлено, що картини викривлення ділильної сітки, отримані в програмі Qform2D, добре узгоджуються з характером реальної течії металу (рис. 4.17, а). Аналізуючи залежність положення границі (поверхні) розділу течії від параметрів процесу, слід зазначити, що процес супроводжується зрушенням по цій границі і швидкість прямого витікання прагне до швидкості деформування [8]. Це супроводжується небезпекою появи тріщин на границях зсуву металу відносно вже zdeформованої частини деталі, яка стає застійною зоною. У програмі Qform поверхневі лінії – це засіб діагностики внутрішніх і поверхневих дефектів в заготовках при штампуванні. Якщо ці лінії проникають всередину заготовки – це вказує на небезпеку виникнення дефекту (див. рис. 4.17, а). До таких дефектів відносяться різного роду утягнення і простріли, попередні руйнування деталей.

Для розширення діапазону розмірів, підвищення складності отримуваних деталей і поліпшення якості штампованих деталей ефективний спосіб комбінованого видавлювання в рухомій матриці [8]. За даним способом за рахунок поділу осередків деформації видавлювання в прямому і поперечному напрямках з роздільних зон заготівки можливе переміщення значного об'єму металу як в поперечну порожнину матриці, так і в прямому напрямку без утворення руйнувань (рис.4.17, б).



Дефекти при видавлюванні і нерівномірність інших схем комбінованого видавлювання (див. рис. 4.17, нижній ряд) показує складність процесів і необхідність керування формозміною і процесом деформування з великими ступенями свободи течії [8].

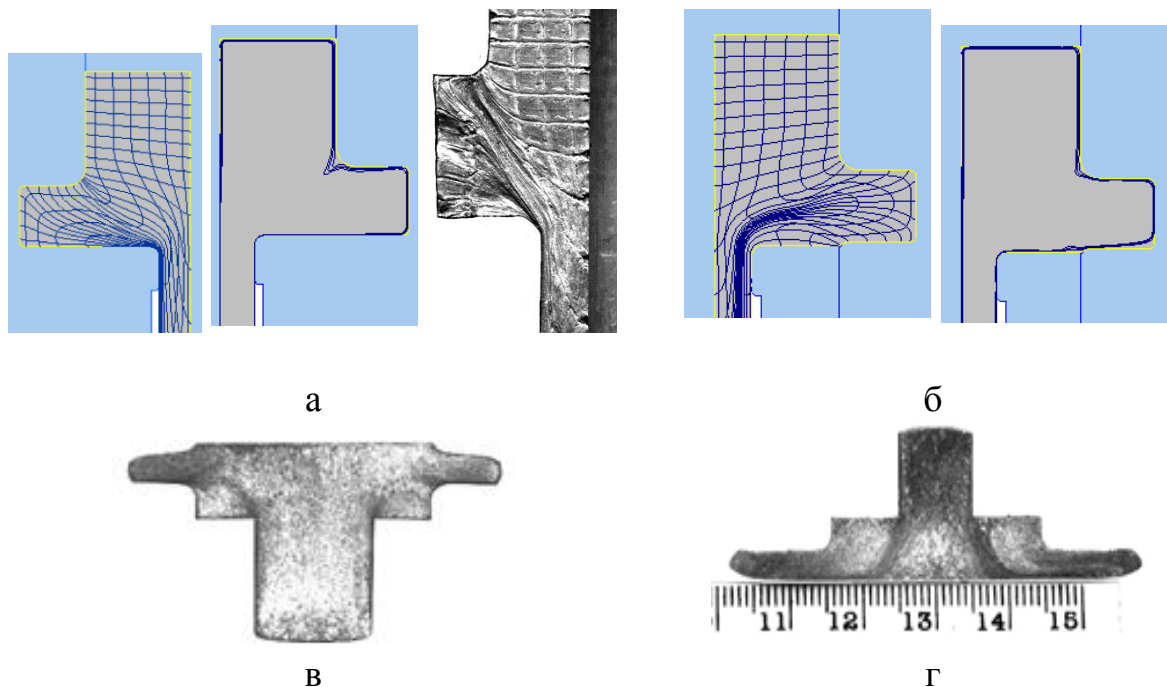


Рис. 4.17. Нерівномірність деформацій при комбінованому радіально-поздовжньому видавлюванні

На рис. 4.18–4.20 наведені приклади створення нерівномірності деформованого стану і деталей з характерними руйнуваннями, отриманими при видавлюванні з односторонньою подачею металу в поперечну порожнину, і схеми відповідних способів, спрямованих на запобігання подібних руйнувань. При боковому видавлюванні з односторонньою подачею відростків (див. рис. 4.18, схема 1) тріщини вздовж нижньої границі ОД з'являються як при деформуванні високопластичних алюмінієвих сплавів, так і при видавлюванні в напівгарячому стані (див. рис. 4.19, а). Для деталей з відростками і фланцями встановлені позитивні можливості схем радіального видавлювання послідовно двосторонньою подачею металу заготовки в порожнину матриці (див. рис. 4.18, схема 2). Для усунення небезпеки руйнування деталі на перехідній до відростка ділянці за рахунок зниження високого градієнта деформацій

на границі осередку при одночасному забезпеченні достатньої міцності запропоновано доповнювати одностороннє видавлювання двостороннім видавлюванням на заключній стадії (рис. 4.19, б) [65].

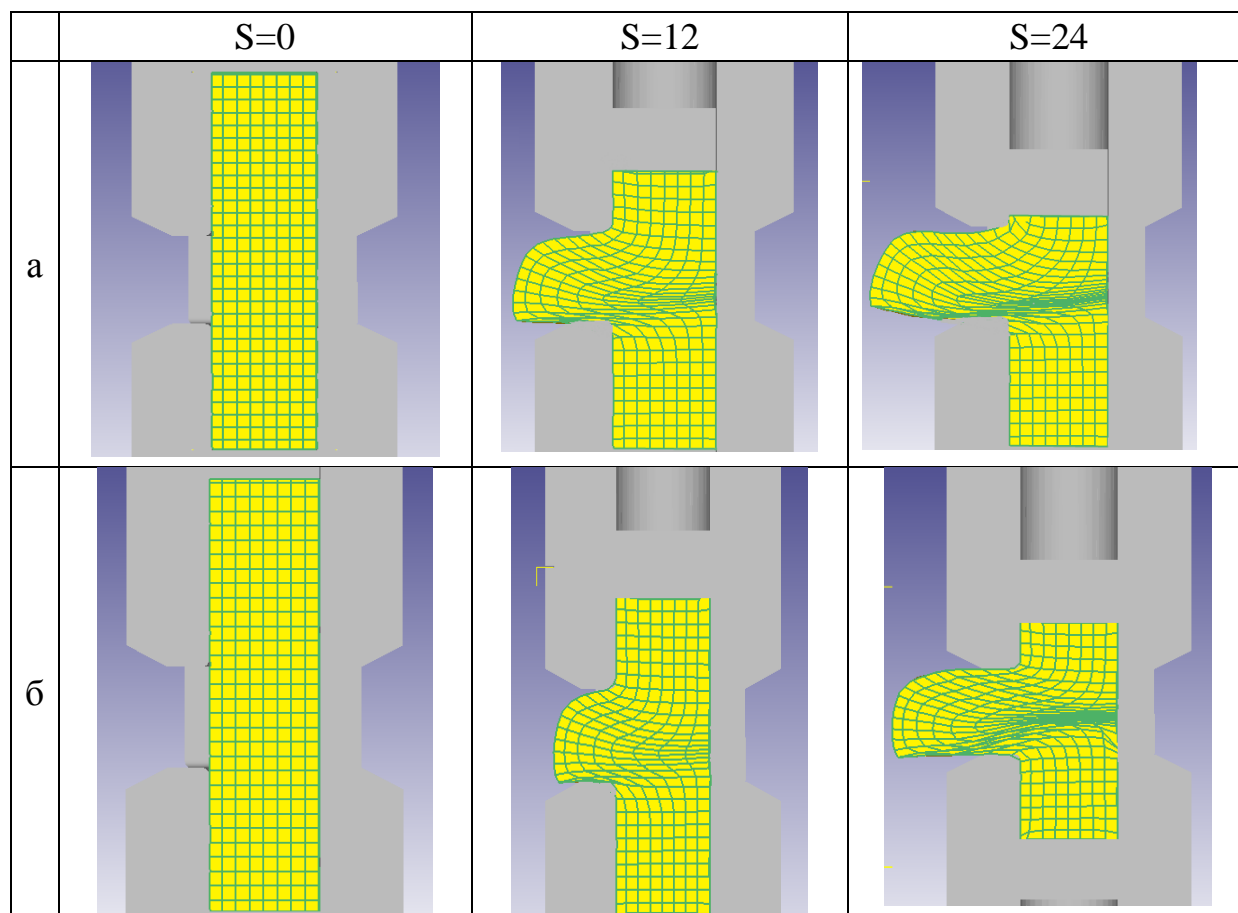
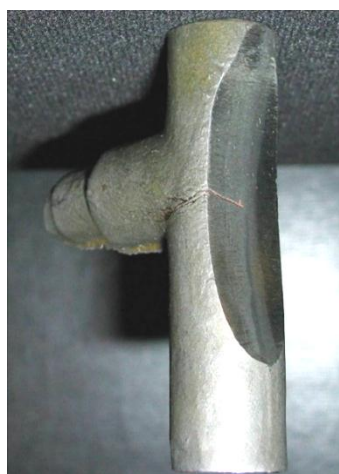
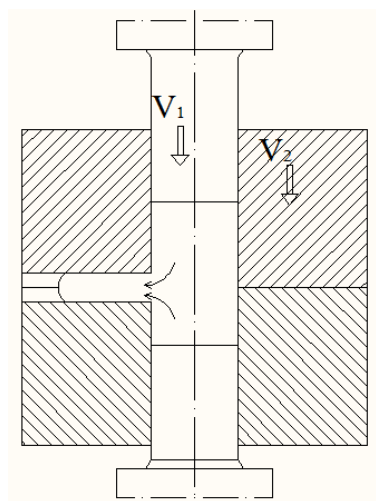


Рис. 4.18. Порівняння деформованого стану за старим (а) і новим (б) способами видавлювання за ходом  $S$  (в мм)



а

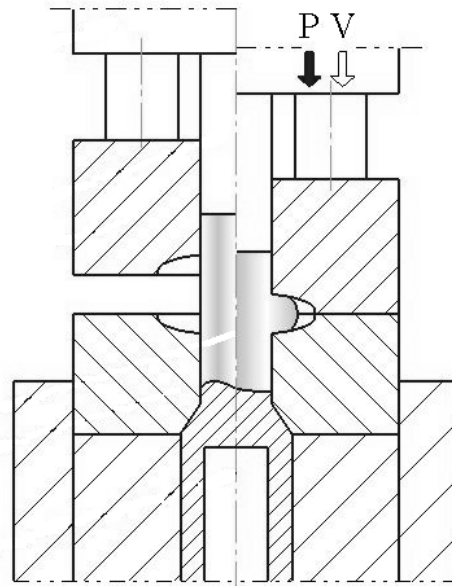


б

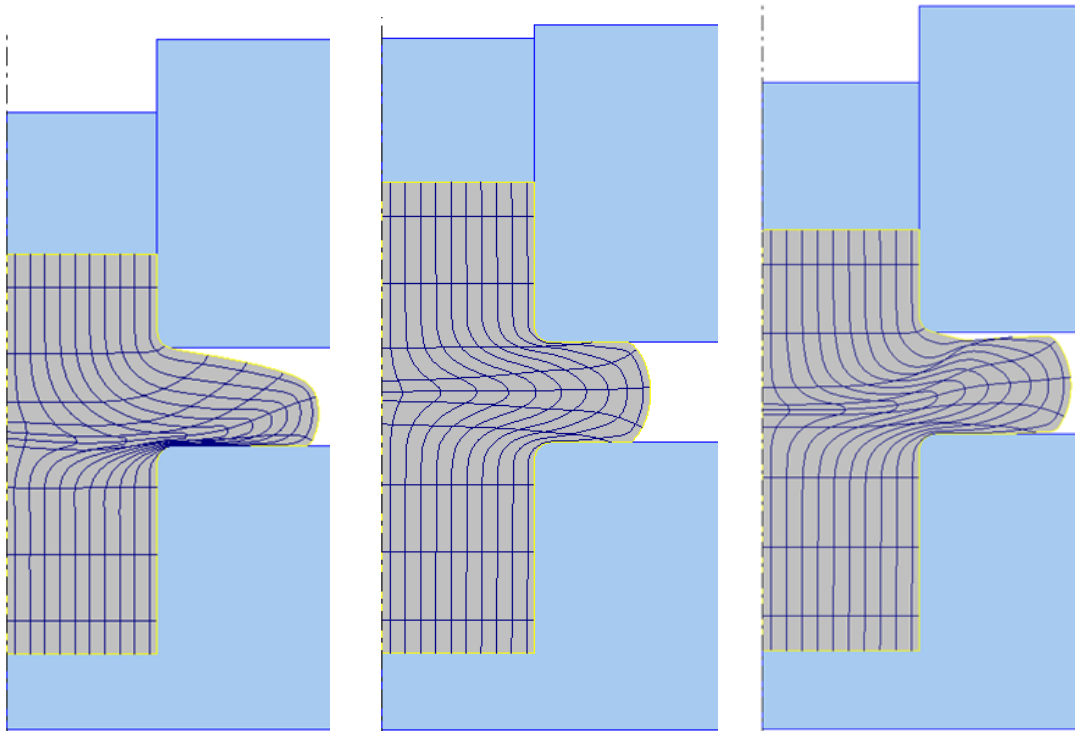
Рис. 4.19. Деталь з відростком (а) і спосіб комбінованого видавлювання з односторонньою і подальшою двосторонньою подачею (б)



а



б



в

Рис. 4.20. Деталь з фланцем, що відділяється (а), спосіб комбіновано-го деформування з попередньою висадкою і радіальним видавлюванням (б) і підвищення рівномірності деформованого стану цим способом (в)

Прикладом негативного впливу нерівномірності деформацій на надійність виробів може служити деталь «наконечник ізоляторних підвісок». Фланці у цих деталях, отримані радіальним одностороннім видавлюванням заготовок зі сталі 20, при випробуваннях на розтягнення відділялися від стрижневої частини за практично гладкою поверхнею, яка відповідала нижній границі осередку деформації (див. рис. 4.20, а).

У тих випадках, коли через конструктивні особливості деталі (наприклад, наконечника) рекомендоване раніше двостороннє видавлювання на заключній стадії нездійсненне, ефективна схема комбінованого деформування, коли на першому етапі виконують висадження, а потім – одностороннє радіальне видавлювання (див. рис. 4.20, б, в) [66].

Підвищенню рівномірності зміцнення деталі, а також усунення дефектів форми, сприяє комбіноване радіальне видавлювання, що включає попередній набір металу в порожнину рухомої матриці і подальшу висадку фланця [67]. Спосіб дозволяє керувати траєкторією (історією) деформування і уникнути небезпечної жорсткої зони напруженого стану на периферії фланця і підвищити в 1,5–2 рази граничні діаметри видавлених фланців. На підвищення рівномірності деформування і ступеня опрацювання металу спрямовані і нові способи інтенсивної деформації зі знакозмінною течією металу [69, 70].

Серед інших рекомендацій щодо зниження і усунення дефектів можна виділити видавлювання в штампі з рухомими півматрицями. Утягнення на внутрішній поверхні трубчастих деталей можна усунути виконанням радіального видавлювання в приймальну порожнину змінної висоти, яка поступово і узгоджено збільшується (рис. 4.21, б) [76].

На рис. 4.21 і 4.22 представлено формозміну заготовки в нерухомій матриці в процесі радіального видавлювання фланців на торці заготовки. Видно, що при радіальному видавлюванні високого фланця на першому етапі починає утворюватися радіальне утягнення, яке при подальшій деформації перетворюється в затиск.

Видавлювання фланця за схемою, представленою на рис. 4.21, б, відбувається в кілька етапів. На першому етапі відбувається радіальне видавлювання металу заготовки в порожнину постійної висоти. Після заповнення порожнини напівматриця починає підніматися вгору зі швидкістю, меншою від швидкості руху деформувального пуансона. На певному етапі радіального видавлювання осередок деформації примикає до рухливої верхньої напівматриці і стає за висотою менше висоти приймальної порожнини під фланець (рис. 4.23). Деталь, отримана таким способом, не має дефектів. Причому деформації в осередку в даному випадку більші, ніж при видавлюванні в порожнину постійного розміру і досягають семи одиниць.

Видавлювання фланців за схемою з рухомою нижньою напівматрицею відрізняється тим, що після заповнення радіальної порожнини на першому етапі матриця починає опускатися вниз по ходу руху деформувального пуансона (рис. 4.24) При цьому осередок деформації по ходу видавлювання, на відміну від видавлювання за схемою з напівматрицею, яка піднімається, дорівнює висоті приймальної порожнини, але деталь також виходить без утягнення і затиснення на внутрішній поверхні. Спостерігається нерівномірність розподілу деформацій за перерізом заготовки. Так, при досягненні максимальних значень ступеня деформацій на зовнішній поверхні фланця, рівних 6,5, на внутрішніх шарах деталі логарифмічні деформації рівні 2,0. Видавлювання фланця за схемою з односторонньою подачею, але зі збільшенням висоти приймальної порожнини за рахунок переміщення і розсування обох напівматриць мало чим відрізняється від схеми видавлювання з матрицею, яка опускається, крім того, що течія металу в верхню частину порожнини є більш вираженою через подачу металу зверху. Тут також осередок деформації дорівнює висоті порожнини, і деталь виходить без дефектів.

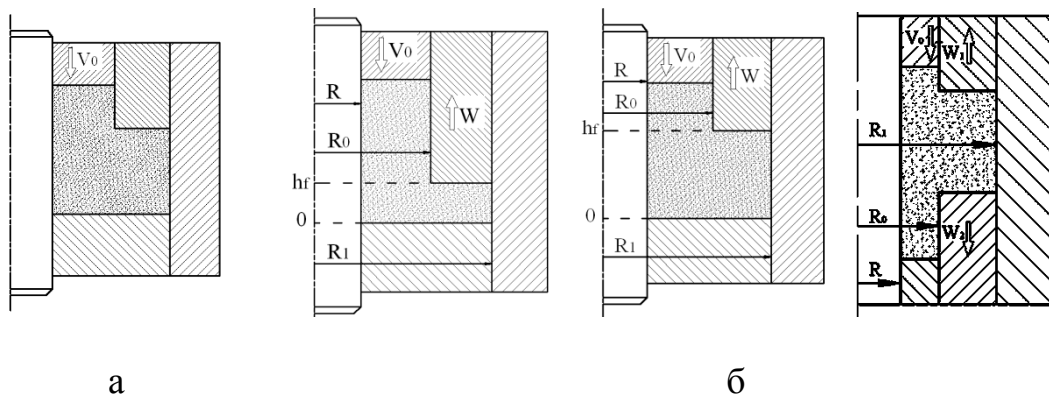


Рис. 4.21. Схеми процесу радіального видавлювання відносно високих фланців в нерухомій (а) і рухомій (б) матриці

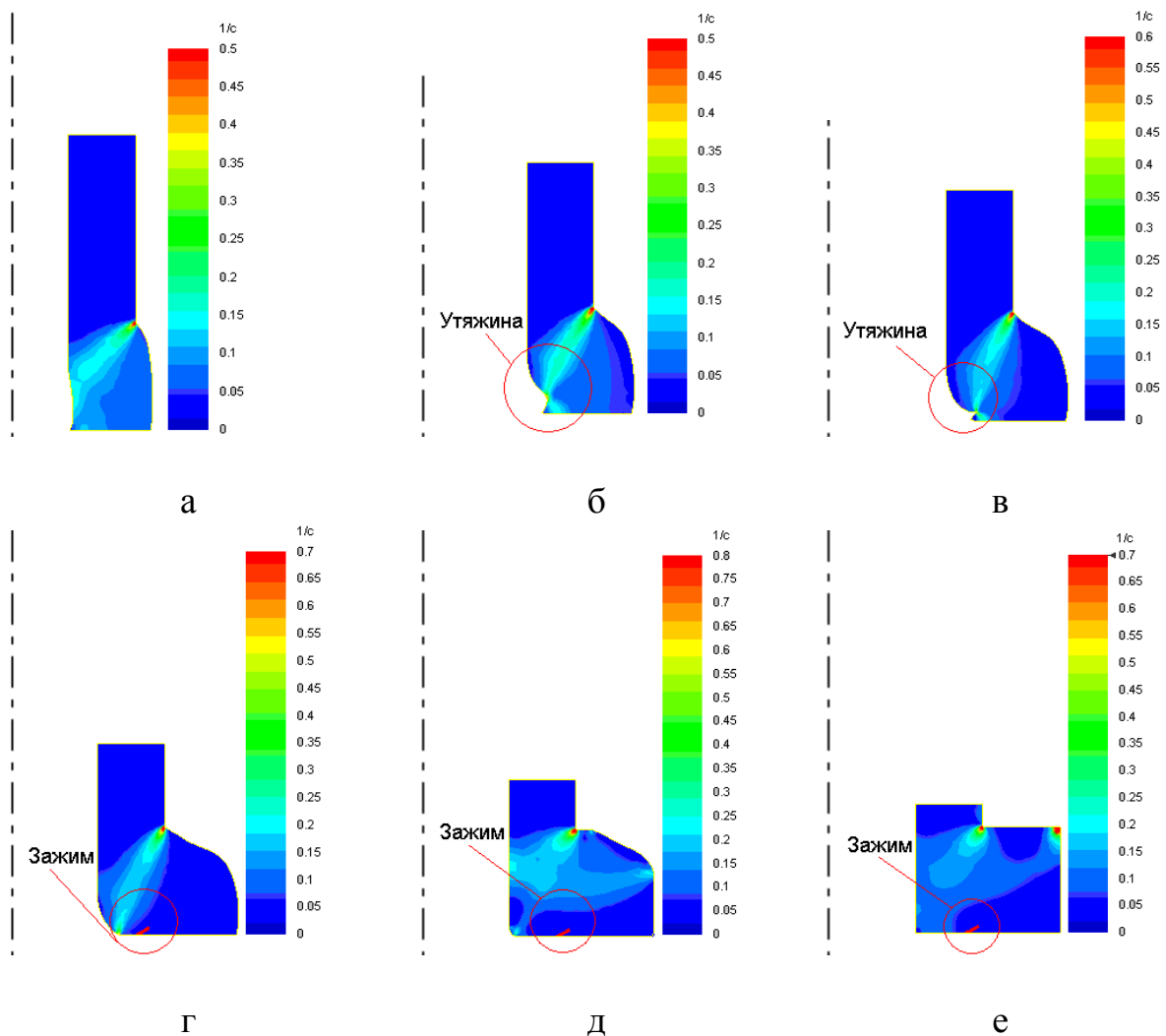


Рис. 4.22. Поля розподілу швидкості деформації по меридіональному перерізу заготовки в процесі радіального видавлювання

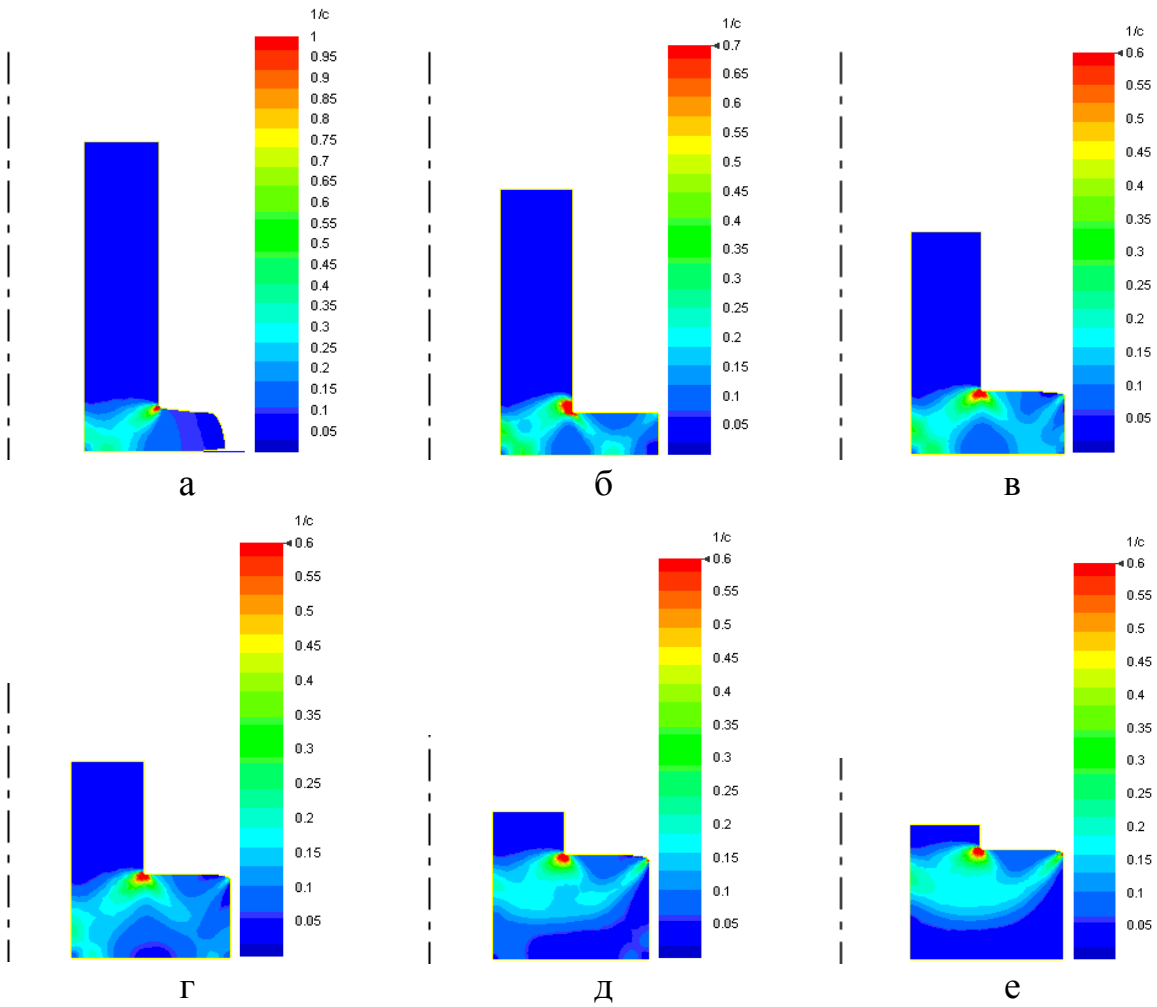


Рис. 4.23. Поля розподілу швидкостей деформації по перерізу заготовки в процесі радіального видавлювання з підйомною напівматрицею

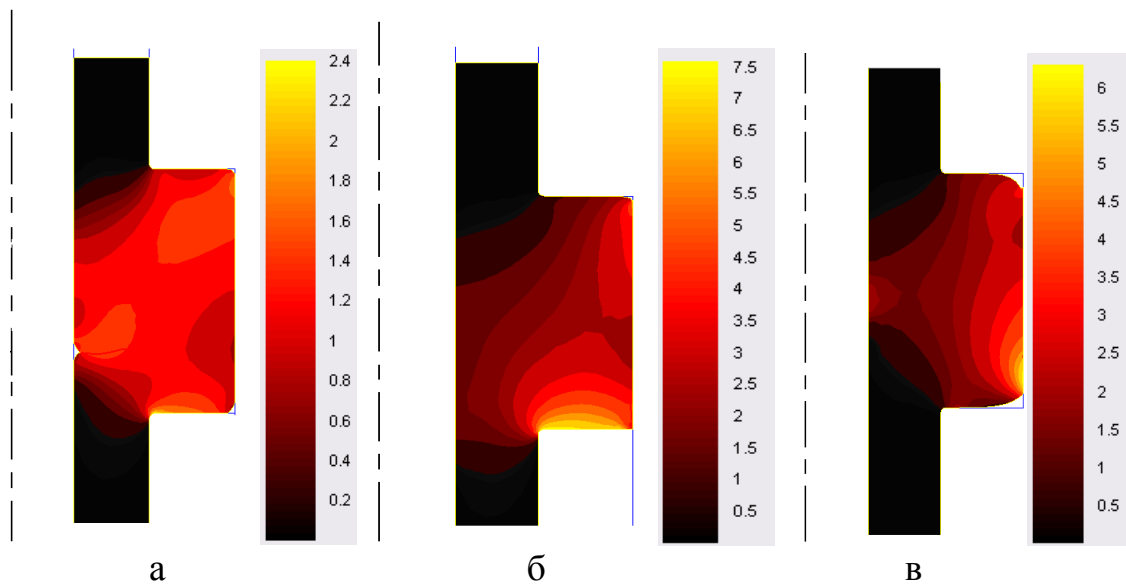


Рис. 4.24. Розподіл логарифмічної деформації по перерізу заготовки на останній стадії радіального видавлювання

Для попередження утягнення на внутрішній поверхні заготовки формують також технологічний бурт, який розгладжують при зворотному ході [8]. За аналогією з цим способом розроблений метод усунення утягнень в донній частині деталей типу гільз і стаканів, які отримують зворотним видавлюванням (рис. 4.25) [68]. При радіально-зворотному видавлюванні зовнішні утягнення з боку дна усуваються обмеженням товщини дна, а внутрішні – попереднім заповненням радіальної порожнини і оформленням фланця до підходу пуансона до даної небезпечної зони.

Комбінування радіального видавлювання з висадкою на заключній стадії, дозволяє отримати фланець з плоскою паралельними торцями і великим граничним значенням діаметра [8] в 4,5 рази. Доопрацювання грибоподібних фланців методом холодного торцевого розкочування дозволяє об'єднати переваги обох способів і виготовити деталі з фланцями великих діаметрів ( $R_1/R_0 \geq 3,0$ ) [8].

Викривлення форми фланців і потовщень можна усунути шляхом обмеження течії по зовнішньому діаметру або створенням протитиску, що, однак, супроводжується, зростанням питомих навантажень на інструмент.

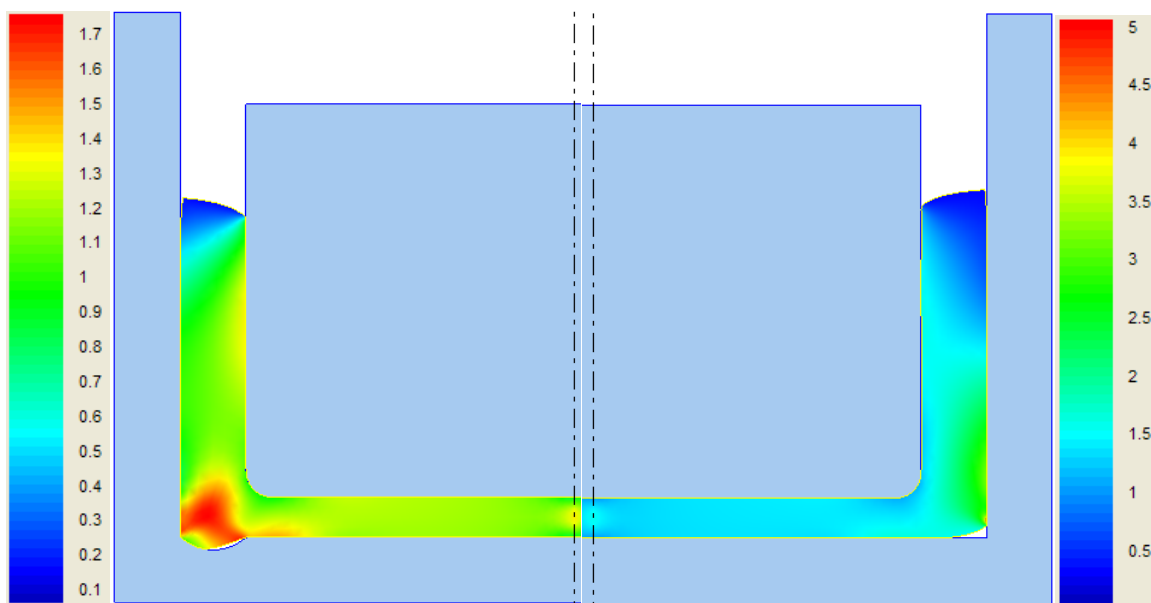


Рис. 4.25. Зниження утягнень за допомогою технологічного бурту



## **5. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

### **5.1. Розробка штампів для видавлювання типових деталей**

Ефективна реалізація переваг процесів видавлювання в виробництві значною мірою залежить від надійної роботи штампів і стійкості інструменту. Штампи для холодного видавлювання працюють при високих питомих навантаженнях і значному контактному терті, що викликають їх значний знос.

Вибір конструкції штампа холодного видавлювання залежить від форми, розмірів, точності і матеріалу деталі, що штампується, способу видавлювання, виду і параметрів обладнання і об'єму випуску. Для отримання необхідної якості деталей, стабільного протікання процесу і достатньої стійкості інструменту, що працює у важких умовах, конструкція штампа повинна відповідати наступним вимогам: висока міцність і жорсткість, надійне і точне центрування робочих частин штампа, швидка заміна і надійне кріплення пакета змінних і робочих частин, можливість автоматизації завантаження заготовок і видалення готових деталей, безпека роботи.

Однією з відмінних рис штампового оснащення для холодного видавлювання є її універсальність, що створює передумови для організації гнучкого виробництва однотипних деталей за груповим технологічним процесом.

Універсальні блоки штампів містять взаємопов'язані за допомогою напрямних вузлів масивні опорні плити, на яких надійно встановлені пуансоно - і матрицеутримувачі. Найбільшого поширення набули штампи з двома направляючими колонками. Колонки і втулки в штампах для видавлювання виконують більшого діаметру, ніж в штампах листового штампування. В опорних плитах рекомендується встановлювати масивні загартовані вставки із інструментальних сталей. У деяких конструкціях штампів ці ставки зроблені на всю товщину плити (рис. 5.1), що усуває можливий вплив прогину плит на співвісність робочих частин штампа. Для вирішення цієї проблеми рекомендовано також використати проміжні (не опорні) плити, в яких і потрібно встановлювати направляючі пари колонок-втулок [2, 6, 13].

Розглянемо деякі конструкції штампів для основних способів холодного видавлювання, які описані в літературі [3, 6, 8, 13].

Кріплення пуансона в пуансонотримачі проводиться за допомогою накладної (рис. 5.2) або вставної гайки (рис. 5.3). Матриці кріпляться за допомогою різних кілець і фланців. Для центрування пуансонів і матриць застосовують такі прийоми: напрямок пуансона безпосередньо по матриці; за допомогою направляючої втулки; переміщення матриці в горизонтальній площині за допомогою різних регулювальних гвинтів, розташованих в корпусі матрицетримача або в пуансонотримачі.

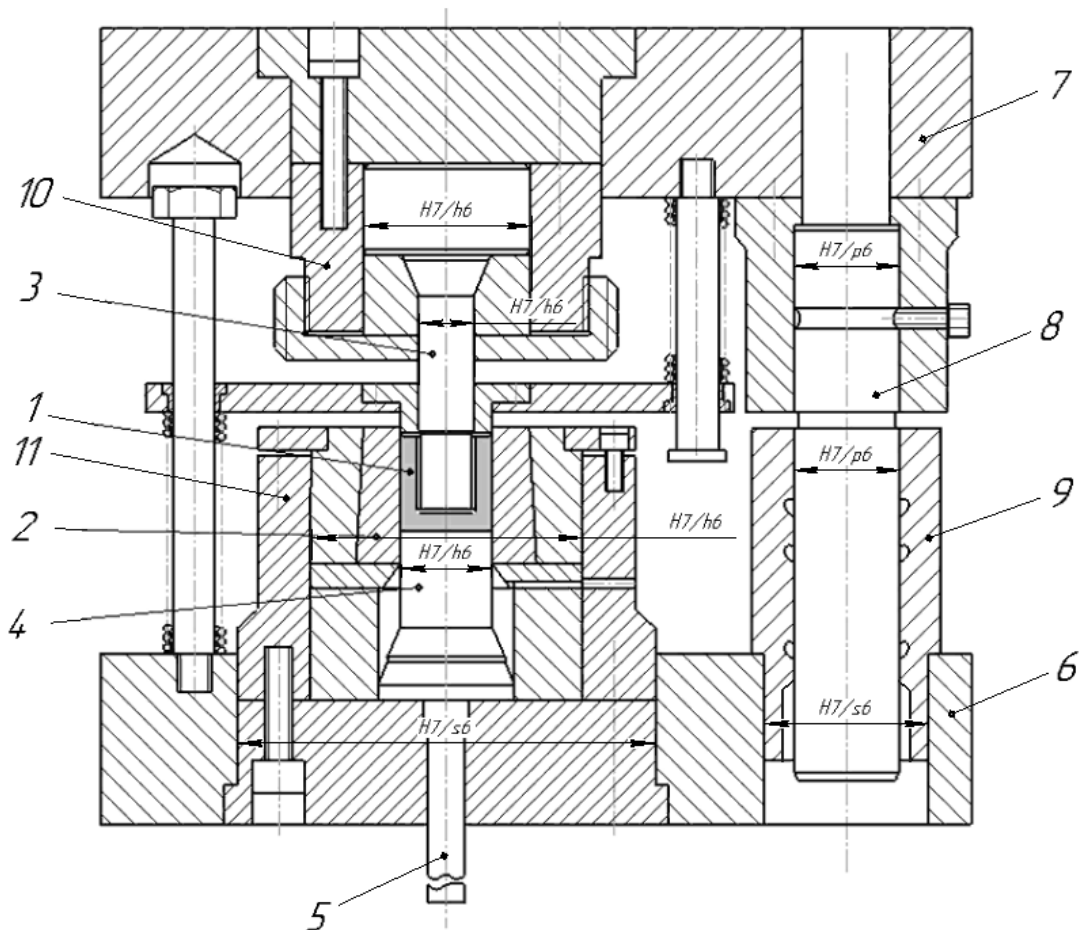


Рис. 5.1. Штмп для холодного зворотного видавлювання: 1–деталь, 2–матриця, 3–пуансон, 4–контрпуансон, 5–штовкач, 6–плита нижня, 7–плита верхня, 8–колонка, 9–втулка, 10–пуансонотримач, 11–матрицетримач

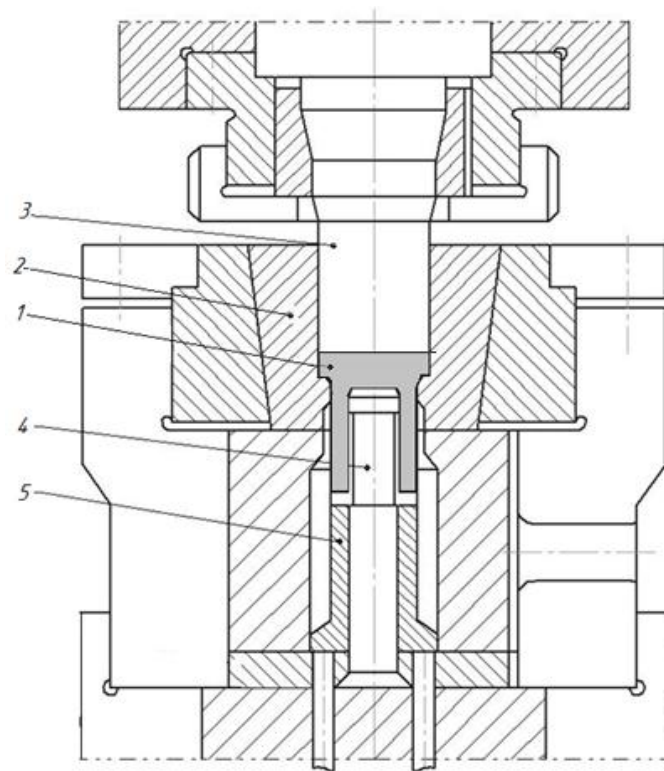


Рис. 5.2. Схема штампа для прямого видавлювання з контрпуансоном: 1—деталь, 2—матриця, 3—пуансон, 4—контрпуансон, 5—виштовхувач

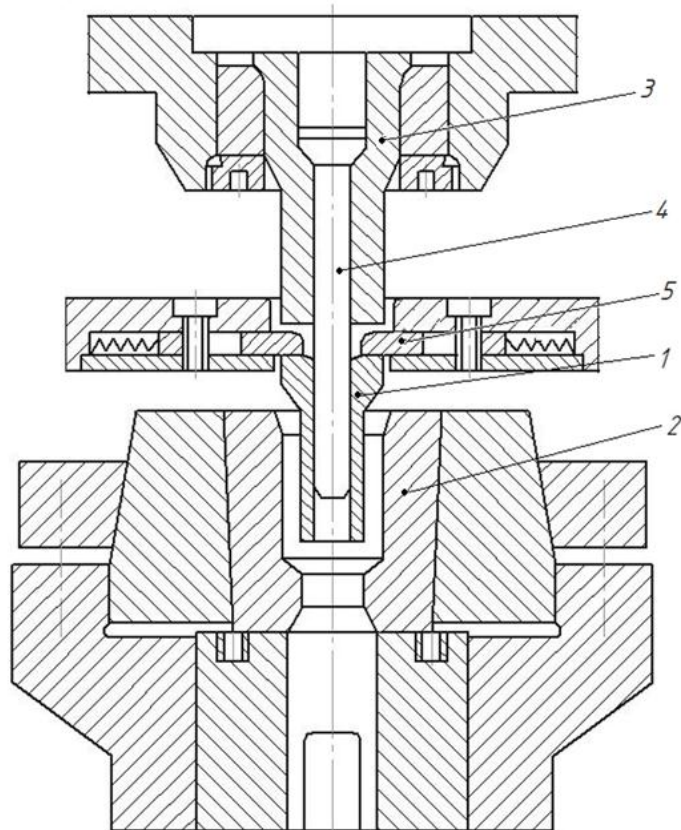


Рис. 5.3. Схема штампа з щелепним знімачем: 1—деталь, 2—матриця, 3—пуансон, 4—оправка, 5—щелепи

Підвищена точність переміщення повзуна і жорсткість спеціалізованих пресів для холодного видавлювання та можливості сучасного інструментального виробництва полегшують завдання створення і експлуатації оснащення для точного штампування і без спеціальних направляючих пуансонів вузлів, що дозволяє знизити його розміри по висоті і підвищити стійкість робочих частин.

Залежно від способу холодного видавлювання, типу обладнання, конструкції штампа застосовують різні варіанти видалення відштампованої деталі з порожнини матриці або зняття його з пуансона [3, 4, 14]. Зазвичай застосовують знімач у вигляді рухомої траверси з отвором, встановленої з підпружинюванням на двох великих гвинтах (див. рис. 5.1). В отворі траверси закріплена загартована втулка, що охоплює пуансон з незначним зазором. При зворотному ході деталь наштовхується на торець втулки і знімається з пуансона.

Для знімання з пуансона деталей типу трубок з фланцем застосовують так звані «щелепні» знімачі (див. рис. 5.3) [3, 6, 13]. При опусканні пуансона вниз щелепні знімачі примусово розводяться за допомогою клинкової системи. Траверса із знімачем також опускається вниз. Під час зворотного ходу деталь, зависаючи на ковзаючій оправці пуансона, відстає від його нижнього торця і в такому положенні витягується з матриці. Коли траверса займає крайнє верхнє положення і зупиняється, а пуансон продовжує підніматися вгору, щелепи 1 під дією пружин 2 заскакують в утворену щілину і знімають деталь.

Видалення деталей з порожнини матриці на пресах для холодного видавлювання, які забезпечені виштовхувальною системою, яка не має ніяких труднощів. Для видалення відштампованих деталей з верхньої половини штампа можна використовувати виштовхувальне коромисло преса. Шток поршня преса впливає на проміжний штовхач, передає рух і зусилля на виштовхувач штампа (опорний пуансон або пуансон) і надалі на деталь, яка видаляється.

Необхідність вбудовувати виштовхуючі пристрої безпосередньо в штампний блок з'являється при використанні універсальних пресів без

виштовхуючої системи або з недостатнім ходом поршня, а також при наявності віддалених від центру позицій багатопозиційного штампа. У цих випадках між нижньою плитою штампа і столом преса в просторі, утвореному двома проставками, розміщується поперечина, прикріплена до телескопічних тяг, пов'язаних з верхньою плитою.

Для холодного видавлювання застосовують штампи з різною кількістю робочих позицій. Багатопозиційні штампи застосовують, як правило, в умовах крупносерійного і масового виробництва при штампуванні деталей складної конфігурації за два і більше переходи. Однопозиційні штампи для прямого і зворотного видавлювання мають багато спільного в конструкції блоку, кріпленні частин і виконанні вузлів виштовхування. Штамп для зворотного видавлювання (див. рис. 5.1) складається з уніфікованого блоку з двома парами направляючих колонок і втулок. Тримачі швидкозмінного робочого інструмента врізані в опорні плити. Пакети штампів забезпечують універсальність їх конструкції та швидке переналагодження. В чотирьохпозиційному штампі для штамповки ковпачкової гайки змінні наладки виконані у вигляді пакетів (рис. 5.4), які швидко встановлюються у гніздах універсального блоку, що є оптимальним рішенням проблеми стандартизації і гнучкості виробництва [3, 6, 13].

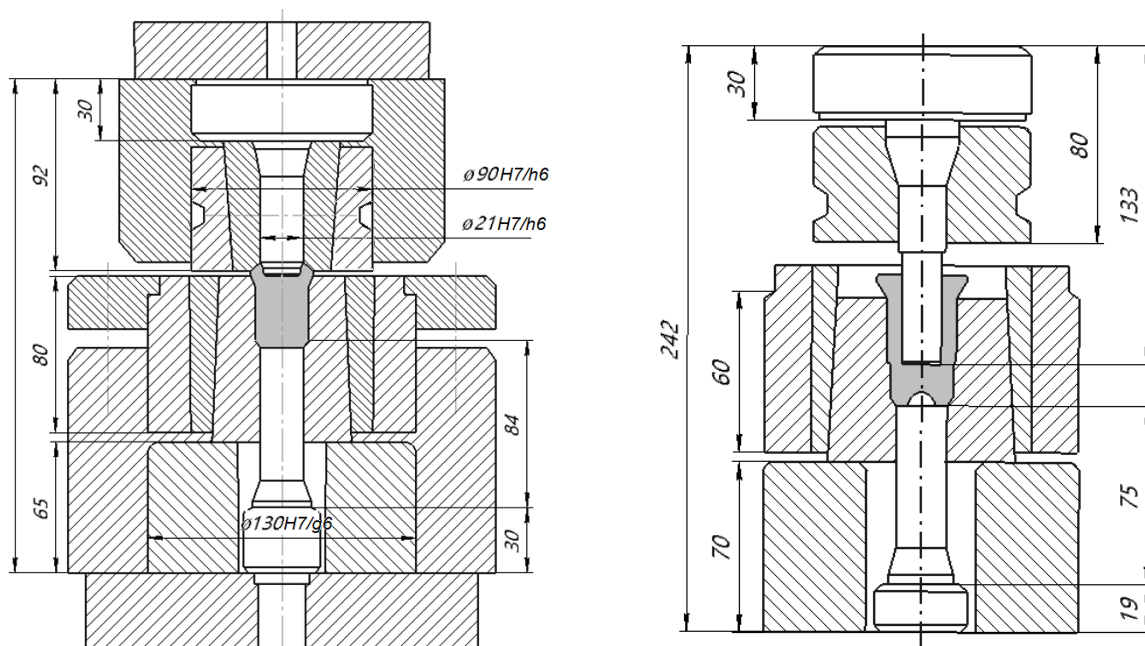


Рис. 5.4. Змінні пакети для позицій № 1 і № 4 чотирьохпозиційного штампа для видавлювання ковпачкової гайки

Штамп для прямого видавлювання (рис. 5.5) також містить взаємопов'язані опорні плити зі вставками, через що технологічне зусилля передається безпосередньо на повзун і стіл преса. Деталь 1 формується в бандажованій матриці 2 під впливом пуансону 3. Для видалення готової деталі з матриці передбачена система виштовхування 4 [3, 6, 13].

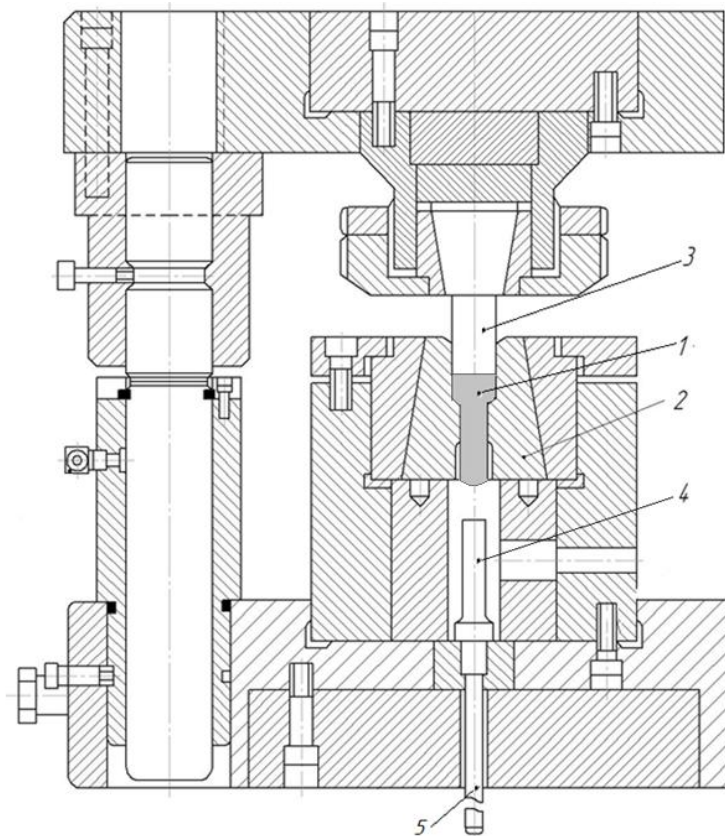


Рис. 5.5. Штамп для прямого видавлювання

Для прямого видавлювання глибокої порожнистої деталі типу гільзи з вихідної заготовки-стакану розроблений штамп для прямого видавлювання на оправці (рис. 5.6).

Конструювання і виготовлення штампового оснащення для поперечного видавлювання має свої особливості. При видавлюванні потовщень матриця виконується з двох бандажованих частин з горизонтальною площиною роз'єму. В процесі деформування напівматриці повинні бути притиснуті один до одного з великою силою. Для цієї мети використовуються пневмогідролічні пристрої, пакети тарілчастих пружин або поліуретановий буфер (рис. 5.7, рис. 5.8).

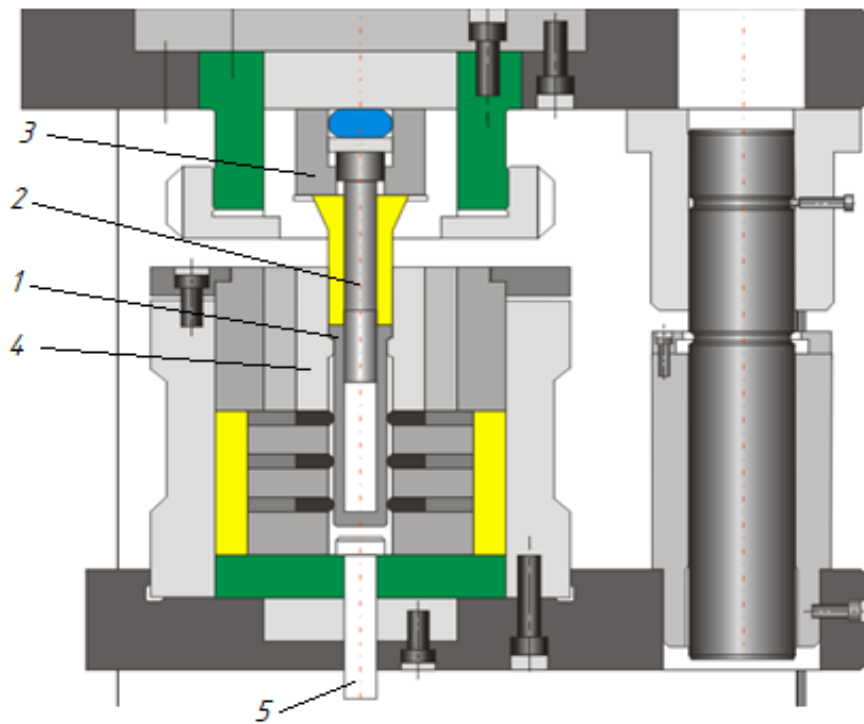


Рис. 5.6. Штмп для прямого видавлнювання на оправці: 1–деталь, 2–матриця, 3–пуансон, 4–оправка, 5–виштовхувач

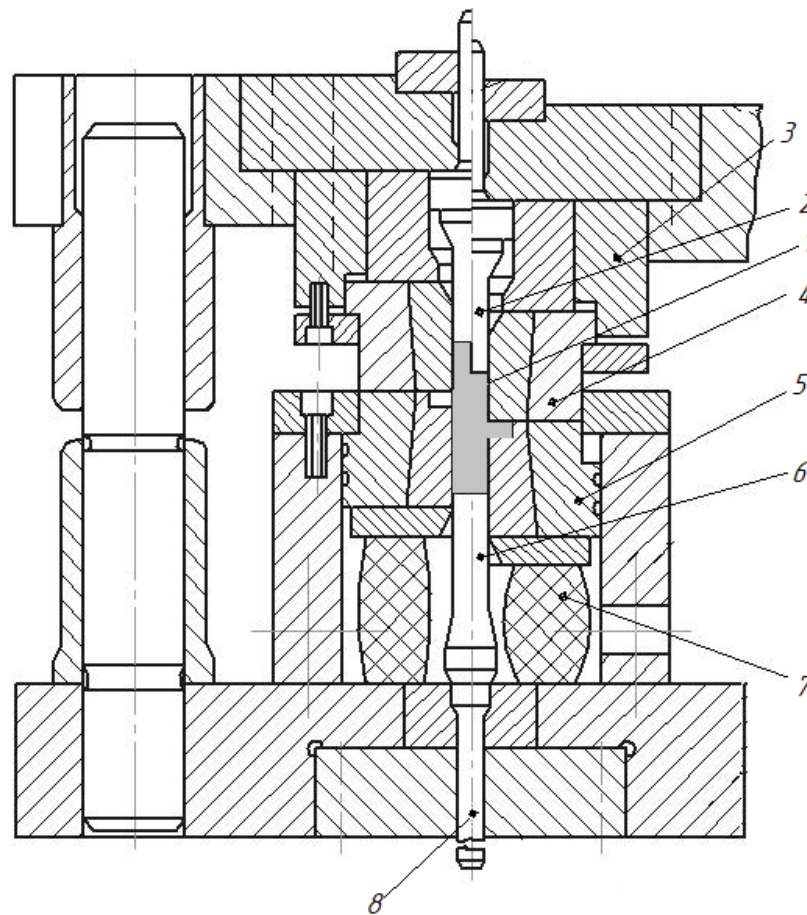


Рис. 5.7. Штмп для радіального видавлнювання деталі з фланцем

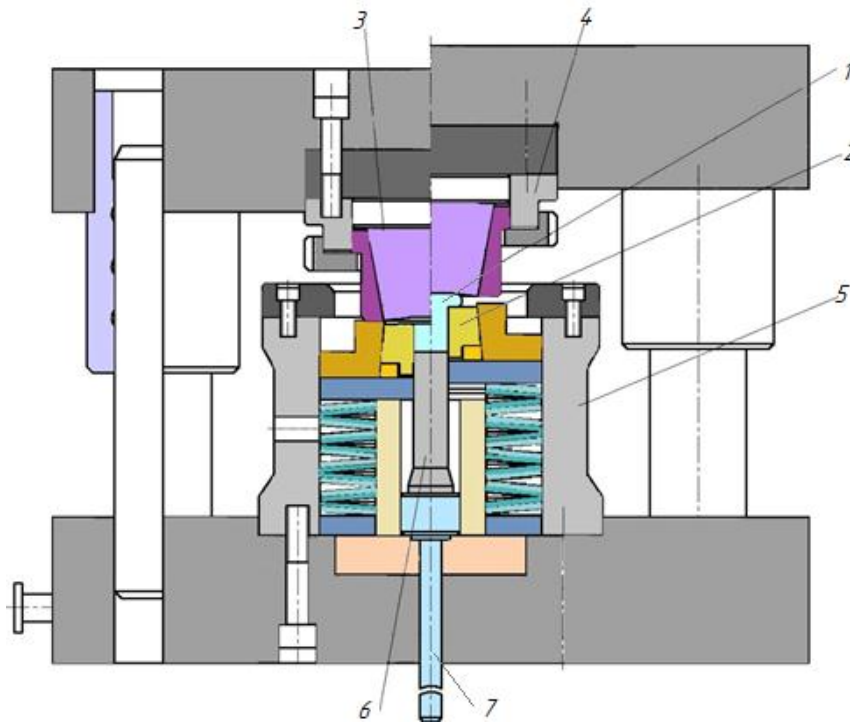


Рис. 5.8. Штамп для радіального видавлювання з висадкою фланця: 1—деталь, 2—матриця, 3—опорний пуансон, 4—пуансонотримач, 5—контейнер з тарілчастими пружинами, 6—пуансон, 7—штовхач

Наведений на рис. 5.7 штамп призначений для радіального видавлювання суцільних деталей з потовщенням з пластичних сплавів кольорових металів. Штамп складається з опорних плит, на яких встановлені матрицеутримувачі 3 і верхня та нижня напівматриці 4 і 5. В порожнині напівматриць розміщені верхній і нижній пуансони 2 і 6. Штамп містить також притискний буфер 7, нижній штовхач 8 та інші деталі. Штамп працює наступним чином. Заготовку 1 завантажують в напівматрицю 5. При опусканні повзуна преса і верхньої плити напівматриці змикаються, утворюючи кругову робочу порожнину, і переміщуються спільно вниз, стискаючи поліуретановий буфер 7. Одночасно з цим деформується і заготовка 1, що здавлюється торцями пуансонів, які наближаються. З нижньої частини заготовки метал односторонньо подається в осередок деформації і радіально видавлюється в кругову порожнину. Виштовхувачі необхідно передбачити в обох половинах штампа. Готова деталь видаляється з напівматриць за допомогою штовхачів, які переміщують пуансони.



Штампи для комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання також містять роз'ємні матриці. Іноді вони виконані у вигляді перевернутого пристрою, в якому пуансон розташований у нижній нерухомій частині, а матриця навпаки рухається униз сумісно з рухомою плитою (рис. 5.9, рис. 5.10). Така конструкція дозволяє спростувати виштовхування і виймання готового виробу зі штампу.

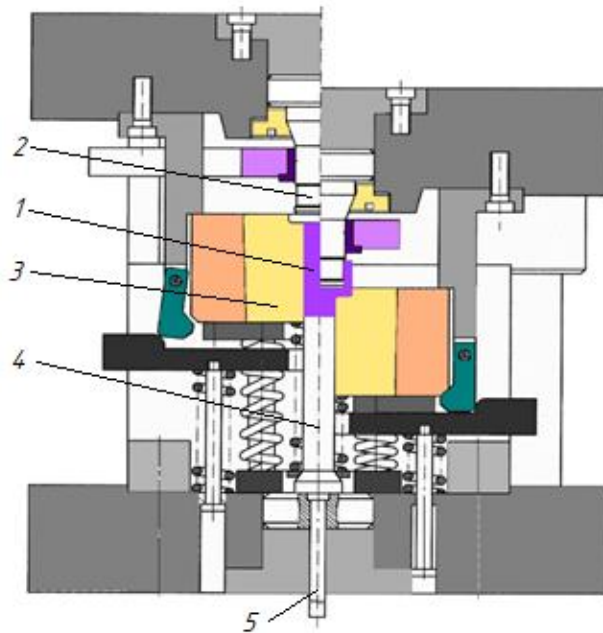


Рис. 5.9. Штамп для радіально-прямого видавлювання: 1—деталь, 2—опорний пуансон, 3—матриця, 4—пуансон, 5—виштовхувач

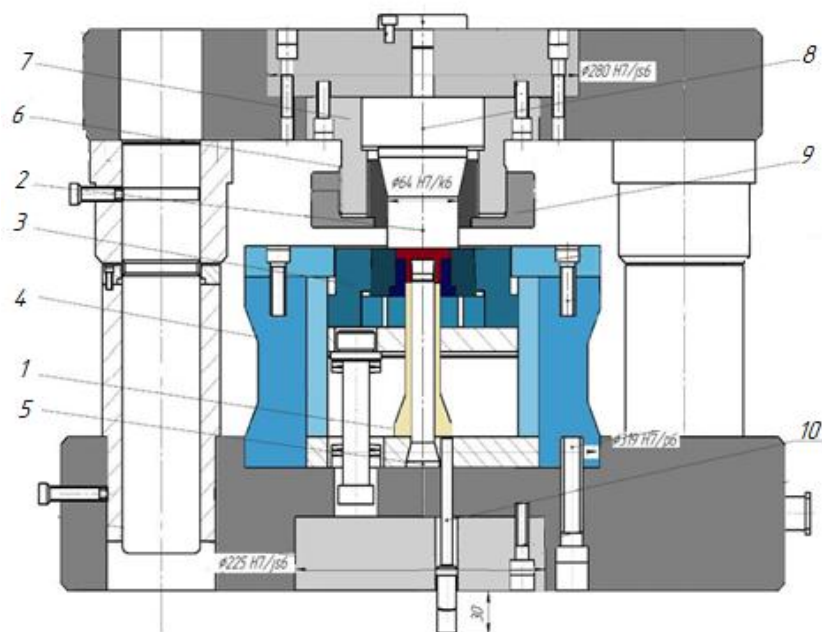


Рис. 5.10. Штамп для радіально-зворотного видавлювання

Штампи для калібрування заготовок перед зворотним видавлюванням способом радіального видавлювання також містять роз'ємні матриці (рис. 5.11) [5]. Спосіб радіального видавлювання можна застосовувати для калібрування з будь-яким ступенем деформації заготовки 1 з нерівними торцями і скосами. Для цього способу розроблені штампи з рухливою матрицею, яка встановлюється на проміжній плиті 6, підтримуваній в початковому положенні пружинами 7 (рис. 5.11, а). Пружини, на які встановлюється проміжна плита, повинні протидіяти силам контактної тертя, які захоплюють рухливу матрицю 5 вниз. Наявність матриці 5 в проміжній плиті дозволяє застосовувати високі вихідні заготовки і виключити втрату їх стійкості.

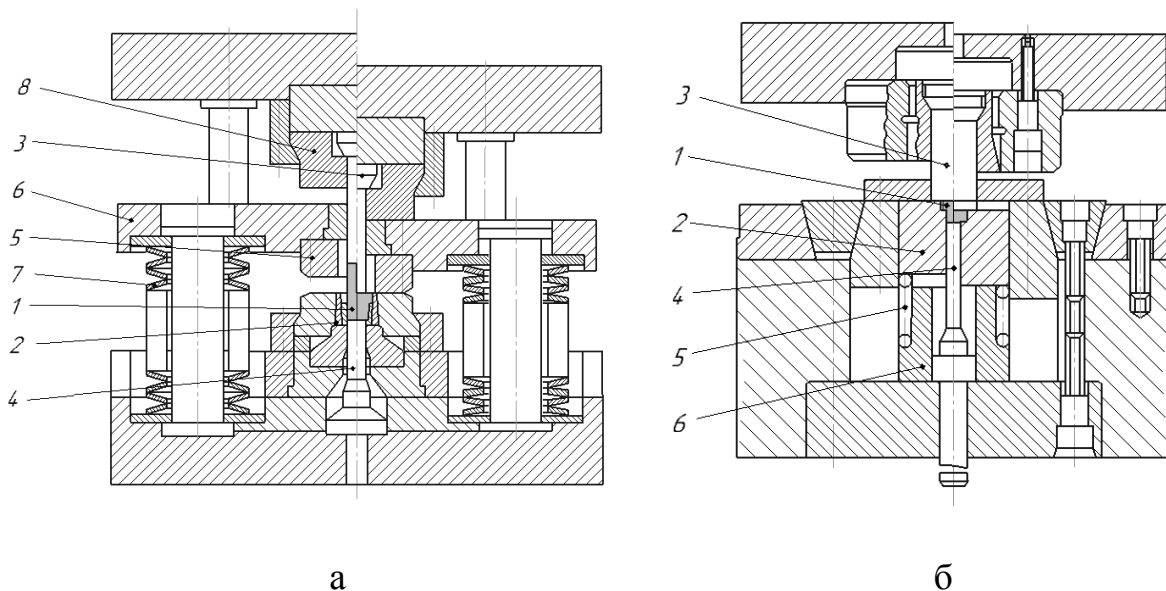


Рис. 5.11. Варіанти конструкцій штампів для калібрування різних заготовок способом радіального видавлювання

У процесі зближення пуансонів відбувається радіальне видавлювання металу в зазор між рухомою і нерухомою матрицями 2 і 5. У завершальній стадії впливом втулки 8, що охоплює пуансон 3, проводиться остаточна висадка утвореного потовщення.

У штампі для радіального видавлювання (рис. 5,11, б) заготовка 1 завантажується в матрицю 2, яка піднімається перед початком штампування за допомогою пружини 5 в крайнє верхнє положення. Опорний пуансон 3 накриває зверху матрицю 2 і при ході вниз одночасно з осадженням заго-

товки 1 опускає і матрицю, стискаючи пружину 5. Контрпуансон 4 (він же і виштовхувач) здійснює радіальне видавлювання металу в кругову порожнину, утворену при змиканні матриці 2 і пуансона 3. На заключній стадії процесу матриця 2 опирається на втулку 6 і тим самим здійснюється висадка заготовки, яка отримує правильну циліндричну форму з паралельними торцями. У штампах радіального видавлювання можна отримувати заготовки типу дисків і Т-образних стрижнів з фланцями.

## 5.2. Конструювання змінного робочого інструменту

Конструкція і геометричні параметри робочого інструмента залежать від форми і розмірів деталей, які видавлюються, від способу видавлювання, від конструкції штампного блоку. Від конструкції інструменту залежить його стійкість, а отже, ефективність і стабільність технологічних процесів холодного видавлювання. Аналіз стійкості робочого інструмента для холодного видавлювання (табл. 5.1) вказує на низьку стійкість пуансонів.

Таблиця 5.1

Середня стійкість пуансонів і матриць для холодного видавлювання [14]

Назва інструмента	Матеріал	Твердість HRC	Середня стійкість, тис. шт.
Пуансон	P18	61–63	12–13,4
Матриця	BK20	–	120,5–180
Пуансон	P12	61–63	9,6–9,8
Пуансон	P6M5	61–63	12,1–13,2
Пуансон	P18	60–62	40–60
Матриця	X12M	57–59	25–50
Пуансон	X12Φ1	59–61	12
Матриця	X12Φ1	57–59	20
Пуансон	X12M	58–60	4–9
Матриця	X12M	56–58	15

Основні конструктивні параметри пуансонів можна розглянути за узагальненою конструкцією пуансона (рис. 5.12), запропонованою Евстратовим В. А. [2, 7]. За функціональним призначенням в пуансоні виділяють робочу частину, перехідну і посадочну. На робочій частині є головка. Посадкова частина, в свою чергу, має центруючу і опорну частини.

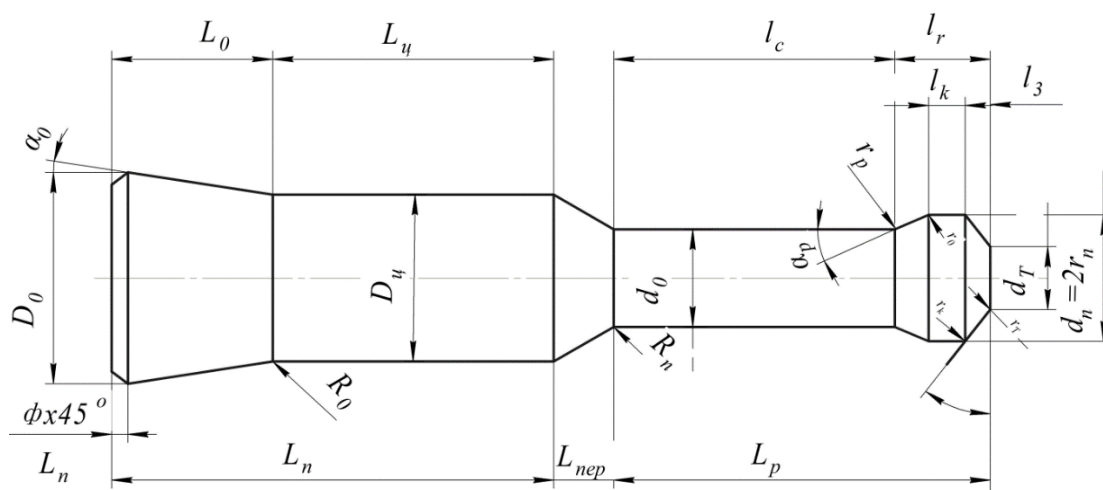


Рис. 5.12. Узагальнена конструкція пуансона

Стійкість пуансонів залежить від конструкції посадкової і перехідною частин. У загальному випадку є десять незалежних конструктивних параметрів:

$d_p$  – діаметр робочої частини пуансона;

$D_0, D_{\text{ц}}$  – діаметри опорної і центруючої частин пуансона;

$L_0, L_{\text{ц}}$  – довжини опорної та центруючої частин;

$R_0, R_n$  – радіуси переходу від опорної частини до центруючої і від робочої до перехідної;

$\alpha_0, \alpha_n$  – кути конусності опорної і перехідною частин;

$\chi$  – фаска на опорному торці пуансона.

Діаметр робочої частини пуансона  $d_p$  повинен бути на 0,1–0,5 мм менше діаметра калібруючого паска  $d_n$ , щоб зменшити тертя між пуансоном і видавленою частиною деталі. Цю умову бажано виконувати не тільки при зворотному видавлюванні деталі типу стакан, але і в конструкціях пуан-

сонів і опорних пуансонів для калібрування, поперечного і прямого видавлювання, що усуває застрягання їх в матрицях при неспіввісному розташуванні або деформуванні (осадженні) інструменту.

Основними конструктивними параметрами  $\Pi_i$  посадкової і перехідною частин пуансона, що визначають його стійкість, є  $D_u$ ,  $R_n$ ,  $D_0$ ,  $L_u$ ,  $R_0$ . Залежно від числових значень цих параметрів посадкова частина пуансона має різні конструктивні форми (рис. 5.13).

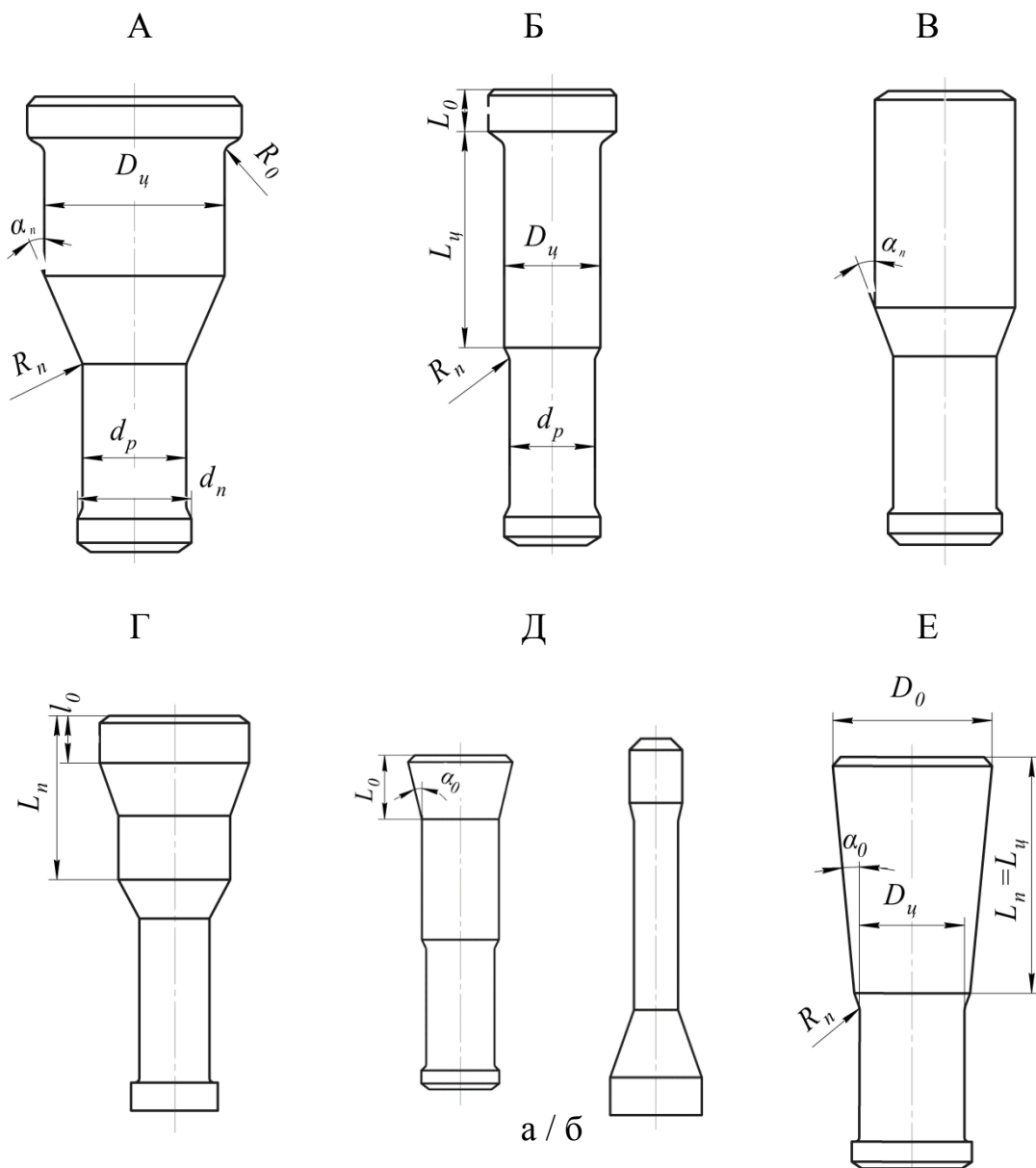


Рис. 5.13. Варіанти конструктивного оформлення пуансонів

Раціональні значення параметрів  $\Pi_i$  для цих варіантів оформлення пуансона встановлюють залежно від діаметра калібруючого паска пуансона  $d_n$ :

$$\Pi_i = a_i d_n, \quad (5.1)$$

де  $a_i$  – коефіцієнт, який визначається з табл. 5.2. Значення параметрів, для яких не задана величина  $a_i$ , встановлюються конструктивно або за розмірним ланцюжком.

У табл. 5.2 наведені також абсолютні значення кутів і опорної і перехідної частин пуансонів різної форми.

Форма пуансонів, відношення діаметра центруючої і робочої частин, радіус переходу від робочої до посадкової частини істотно впливають на інтенсивність концентрації напружень в перехідних зонах, в яких виникають тріщини – основна причина виходу з ладу пуансонів.

Загальна вимога до конструкції пуансонів з точки зору зниження концентрації напружень полягає в забезпеченні плавності переходів від одного діаметра до іншого, відсутності підрізів, рисок і подряпин. Рівномірний розподіл напружень спостерігається у пуансонів з конічною перехідною частиною при куті переходу  $\alpha_n \approx 30^\circ$  [5, 7, 14]. Але при цьому виявляється значно укороченою циліндрична ділянка центруючої частини пуансона. У роботах [2, 14] показано, що при різкому переході від робочої до центруючої частини (при  $\alpha_4 \geq 1,2$ ) по радіусу  $R_n$  виникає значна концентрація напружень. Форму пуансонів *A* можна вважати раціональною, оскільки в перехідній частині навіть при великих радіусах переходу  $R_n$  напруження розподілені вкрай нерівномірно, що сприяє передчасному руйнуванню пуансонів. Щоб забезпечити високу стійкість, доцільно застосовувати пуансони *B*, *D*, *E* з малим потовщенням центруючої і опорної частин.

Важливим фактором, який визначає стійкість пуансонів, є радіус переходу  $R_n$ . Для досягнення мінімального коефіцієнта концентрації напружень слід застосовувати  $\alpha_6 = 0,3 \dots 0,4$ .

## Конструктивні параметри пуансонів

Параметри, $P_i$	$i$	Тип пуансона						
		А	Б	В	Г	Д-а	Е	Д-б
		Значення коефіцієнтів $a_i$ до формули 2.1						
$D_0$	1	2,0	1,25–1,40	1,25–1,40	1,25–1,50	1,25–1,50	1,25–1,50	1,15–1,25
$L_0$	2	0,4	0,25–0,28	–	–	–	–	–
$R_0$	3	0,1	0,30–0,40	–	0,1	0,3–0,4	–	–
$D_u$	4	1,5	1,05–1,08	1,1–1,2	1,1–1,2	1,01–1,08	1,05–1,08	1,0–1,05
$L_u$	5	1,0–1,5	1,7–2,50	1,6–2,0	–	1,7–2,50	2,0–2,2	–
$R_n$	6	0,3–0,4	0,3–0,40	0,3–0,4	0,2–0,3	0,3–0,4	0,3–0,4	0,2–0,4
$L_n$	7	–	–	–	1,5–2,5	–	2,0–2,2	–
Значення кутів								
$\alpha_n$	–	30	–	30–45	15–30	–	–	15
$\alpha_0$	–	–	–	–	15	12–20	5–7	–

Величину  $D_0$ , яка визначає тиск пуансона на опорну прокладку, бажано застосовувати настільки великий, настільки це допустимо конструктивно ( $\alpha_1 \leq 1,5$ ). Довжина центруючої частини пуансона  $L_u$  визначає надійність закріплення пуансона в штампі, тому її бажано збільшувати наскільки можливо і допустимо, виходячи з міркувань економії дорогої інструментальної сталі [7]. Максимальне значення коефіцієнта  $\alpha_3$  дорівнює 2,2. У штампах з надійним центруванням і напрямком пуансона типу  $\Gamma$  по матриці (для калібрування, поперечного і прямого видавлювання та інше) допустимо зниженням величини  $L_u$  в 1,5–2 рази.

Радіус переходу від центруючої до опорної частини  $R_0$  доцільно вибирати рівним радіусу  $R_n$ . Довжина опорної частини визначається для пуансонів типу  $A$ ,  $B$  – за формулою (5.1);  $D$ – $E$  – конструктивно, побудовою розмірного ланцюга;  $\Gamma$ – $E$  – побудовою розмірного ланцюга з урахуванням наявності в опорній частині циліндричного пояса висотою 5–15 мм або  $l'_0 = (0,25 \dots 0,4) d_n$ . Величина фаски на опорному торці пуансона  $\chi = 0,5 \dots 0,8$  мм.

При видавлюванні відносно неглибоких порожнин стаканів з високими питомими зусиллями в штампах з надійним напрямком пуансона слід застосовувати конструкцію пуансона  $E$  з конічною посадковою частиною, при якій небезпечний перетин найменш навантажений при стисненні [7]. При видавлюванні глибоких порожнин ( $H_a/d_n > 1,5$ ) з помірними питомими зусиллями  $p \leq 2000$  МПа бажано вибрати конструкцію пуансона, в якій небезпечний перехідний перетин найменш навантажено при розтягуванні пуансона (на початку зворотного ходу повзуна). Такими є пуансони  $B$  і  $D$  з циліндричною посадковою частиною.

Для видавлювання високопластичних кольорових металів і сплавів прийнятні швидкозмінні пуансони типу  $B$ , які закріплюються затискачем цангою циліндричної центруючої частини або впливом на конічну перехідну частину.

Опорні пуансони (виштовхувачі) в штампах для калібрування, зворотного і поперечного видавлювання працюють подібно пуансонам в важких умовах. За функціональним призначенням в виштовхувачі виділяють робочу і опорну час-



тини (рис. 5.13, Д). Діаметр робочого паска виштовхувача  $d_n$  приймається рівним діаметру матриці і підганяється до неї по посадці з зазором  $H7/h6$  або  $H7/f7$ . Довжина виштовхувача визначається величиною необхідного ходу для виштовхування з матриці готової деталі. Розміри опорної частини виштовхувача слід приймати відповідно до даних для пуансона Д-б (див. табл. 5.2).

Іншою зоною високої концентрації напружень є нижня робоча частина пуансона, в якій розподіл напружень досить складне і залежить від виду технологічної операції, а також від конструктивних елементів головки: радіусів заокруглення, кутів конусності, наявності плоскої ділянки на торці і т.п. Залежно від виконуваної операції і форми порожнини головка пуансона може мати різне конструктивне оформлення (рис. 5.14).

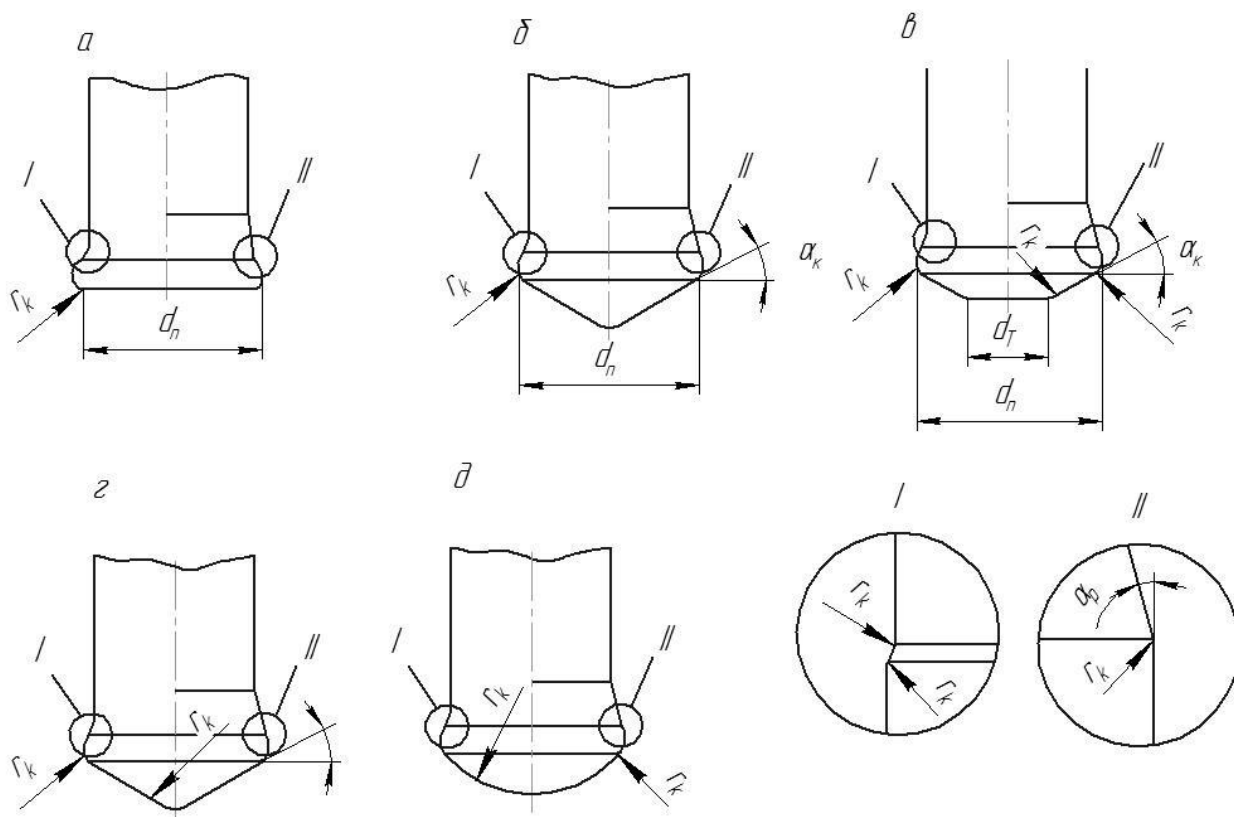


Рис. 5.14 – Варіанти оформлення робочого торця пуансонів

Для прямого і поперечного видавлювання використовуються пуансони типу «б» з малим скосом ( $\alpha_k = 1 \dots 2^\circ$ ) робочого торця, який поліпшує умови деформування і збільшує стійкість. Пуансони і виштовхувачі для калібрування заготовок мають форму торця, яка відповідає конфігурації торцевої поверхні заготовок. При каліб-

руванні заготовок пуансоном з плоским торцем типу «а» стійкість пуансона невисока. Заміна плоского торця конусною поверхнею з кутом  $\alpha_k = 1 \dots 2^\circ$  збільшує стійкість в кілька разів [2, 14]. Виступи на торцевій поверхні пуансонів бувають необхідні для утворення поглиблень на торцях заготовки, що полегшують центрування пуансонів на наступних переходах видавлювання. Для зворотного і комбінованого (зворотно-прямого, зворотно-поперечного) видавлювання застосовують пуансони всіх типів в залежності від особливостей конструкції деталі, яка видавлюється.

Пуансони з плоским торцем використовують тільки при видавлюванні високопластичних металів, коли потрібно оформити плоске дно деталі. При видавлюванні деталей з малопластичних металів пуансони типу «а» викликають сильну нерівномірність деформації і появу тріщин [6].

Загострення головки пуансона дозволяє значно знизити нерівномірність деформації і зусилля видавлювання. Однак при цьому погіршуються умови рівномірного розподілу мастила на контактній поверхні заготовки, що деформується. Пуансони зі сферичним або конусним ( $\alpha_k > 15^\circ$ ) торцем хоча і забезпечують зниження зусиль видавлювання при малих ступенях деформації  $\varepsilon$ , при  $\varepsilon \geq 0,6$  розривають шар мастила, створюють умови для інтенсивного витіснення і нерівномірного розподілу мастила, порушення осьової симетрії деформації і відведення пуансона убік [2, 14]. Це призводить до збільшення питомого зусилля, різностінності деталей і зниження стійкості інструменту.

Необхідно відзначити, що застосування пуансонів загостреної конічної форми  $\alpha_k = 60^\circ$  дозволяє отримати наскрізним прошиванням деталей типу втулок без відходів. Використання сферичних пуансонів доцільно для отримання при помірних навантаженнях достатньо тонких днищ стаканів [7]. Найбільш широко застосовуються пуансони типу «в» з плоскою площиною в середній частині торця і конусним переходом до калібруючого паску. Вони забезпечують кращий розподіл мастила і помітне зниження деформуючих зусиль, тому їх слід застосовувати у всіх можливих випадках (наприклад, коли передбачають припуск на обробку порожнини, стакан має кільцеву проточку, дно видаляється механічною обробкою чи пробивкою) [7]. Для пуансонів типу «в» оптимальними вважаються параметри:  $d_m = 0,5 d_n$ ;  $\alpha_k = 20 \dots 25^\circ$ ; для пуансонів типу «б»

$\alpha_k = 1 \dots 2^\circ$  для алюмінієвих сплавів та  $\alpha_k = 5 \dots 7^\circ$  для сталі та високоміцних сплавів кольорових металів [3, 7].

Висоту калібруючого пояска  $l_k$  можна приймати рівною  $(0,1 \dots 0,2) d_n$ . Зменшення висоти пояска до 2–3 мм знижує питоме зусилля і не прискорює знос пуансона [3, 14]. Радіус  $r_k$  грає важливу роль в рівномірному розподілі мастила. Оптимальна величина  $r_k$  залежить від  $\alpha_k$  і глибини видавлюваної порожнини [5, 7]. При малих радіусах мастило залишається на дні, при великих – мастило відразу ж витісняється з-під пуансона. Рекомендується визначити  $r_k$  і в залежності від діаметра пуансона:  $r_k = (0,05 \dots 0,1) d_n$ .

Перехід від головки пуансона до стрижня можна виконати в двох варіантах (див. рис. 5.14, *I* та *II*) [7]. Варіант *I* простіше у виконанні, але при добуванні пуансона з видавленої деталі недостатньо закруглений перехід по  $r_0 \leq 1$  мм знімає стружку, в зв'язку з чим різко збільшується зусилля знімання і відбуваються поломки пуансона. Більш кращим слід вважати варіант *II*, приймаючи  $\alpha_p = 4 \dots 5^\circ$ , а  $r \geq 1,5$  мм.

Торцева поверхня виштовхувачів оформляється відповідно до форми торця або дна деталі. Для усунення утягнення країв нижнього торця стакану з тонким дном, який видавлюється, робочий торець виштовхувача доцільно виконати зі скошеними краями або сферично випуклим.

Для деформування трубчастих заготовок способами прямого і поперечного (радіального) видавлювання застосовують пуансони з оправками (рис. 5.15). Застосування суцільних пуансонів з оправкою небажано через недостатню стійкість.

Оптимальною конструкцією є складовий пуансон «б» з рухомою оправкою, здатною до переміщення в пуансоні по ковзаючій посадці  $H7/h6$ . Торці пуансона виконують зі скосом  $1-2^\circ$ , а поверхню оправки – за можливістю кінцевою з ухилом  $1-3^\circ$ . При поперечному видавлюванні оправку слід центрувати і в нижній частині пакета.

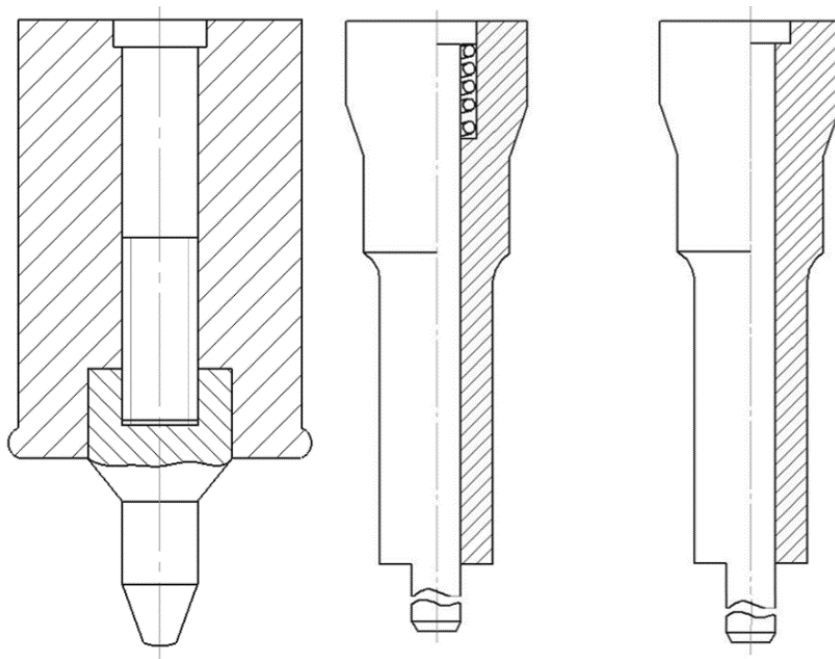


Рис. 5.15. Конструкції збірних пуансонів

Всі робочі поверхні інструменту, що контактують з деформованим металом, і поверхні перехідної частини пуансонів потрібно полірувати.

Відхилення від перпендикулярності опорних торців до поздовжньої осі по всій довжині допускається не більше 0,01–0,02 мм.

Геометрія формуючих елементів матриці залежить від виду технологічної операції, форми і розмірів деталі, яка штампується. Матриці для прямого видавлювання мають циліндричну західну порожнину для формоутворення деталі і нижню порожнину для направлення видавленої частини деталі (рис. 5.16). Висота вхідної частини складається з висоти вихідної заготовки і довжини пояска попереднього направлення пуансона по матриці, яка призначається в межах 5–10 мм [14].

Робоча порожнина складається з перехідної частини, циліндричної приймальної порожнини і самого формуючого пояску. Геометрія перехідної частини надає істотний вплив на питоме зусилля і нерівномірність деформації. Визначаючи оптимальну геометрію матриці, можна досягти не тільки мінімум зусиль, але і забезпечити можливість деформування заготовки з найменшою небезпекою отримання браку по розривам [5, 7].

Порівняльний аналіз параметрів процесу прямого видавлювання в матрицях з різною формою перехідної частини (конусної, радіусної та експоненційної) показав переваги в технологічному відношенні конічної форми [2, 14]. Оптимальними конструктивними параметрами прийнято вважати:  $2\alpha = 90 \dots 120^\circ$ ;  $R_m = (0,1 \dots 0,2)D_m$ ;  $R_k = (0,05 \dots 0,15)D_m$ ;  $l_k = 0,2D_k$ , або  $l_k = 2 \dots 6$  мм;  $D_g = D_k + (0,3 \dots 0,6)$ ;  $\alpha_g = 15^\circ$ . Параметри  $D_m$  і  $D_k$  назначаються за найменшим граничним розмірам фланця та стрижня деталі.

Матриці для прямого видавлювання найчастіше виходять з ладу через поломки в місці перехідного радіуса  $R_m$ . Щоб підвищити міцність матриць, вставки необхідно виконувати конусністю вниз (рис. 5.16, а). Найкращою міцністю і технологічністю мають конструкції матриць, в яких вставки розділені на дві частини з поділом по горизонталі, тобто перпендикулярно осі (див. рис. 5.16, в) або вздовж поздовжньої осі матриці (див. рис. 5.16, б). У першому випадку в процесі деформування через недостатнє притискання верхньої частини матриці до нижньої частини в зазор затікає метал, що перешкоджає виштовхуванню відштампованої деталі з матриці. Зменшення площини контакту складових частин матриці дозволяє значно збільшити щільність прилягання складових елементів вставки (див. рис. 5.16, в). Представляють інтерес матриці з підтискаючою гайкою (див. рис. 5.16, г і д), яка має дрібне різьблення і прикручується до зовнішнього (проміжного) бандажа і створює в матриці попередні осьові напруження стиснення, що запобігають втомним поперечним тріщинам матриці. Вставки складової конструкції, як правило, не руйнуються, а виходять з ладу внаслідок зносу.

Значну складність представляє конструювання матриць для видавлювання деталей з конічними елементами (див. рис. 6.16, е), що відчують підвищені робочі навантаження. Оптимальні конструктивні параметри [2]:  $2\alpha = 45 \dots 60^\circ$ ;  $l_k = 0,15 \dots 0,20$ ;  $R_k = 1 \dots 3$  мм. Щоб полегшити виготовлення матриць, вставку розділяють на частини 4 і 1, іноді виконують складовою і частину 1.

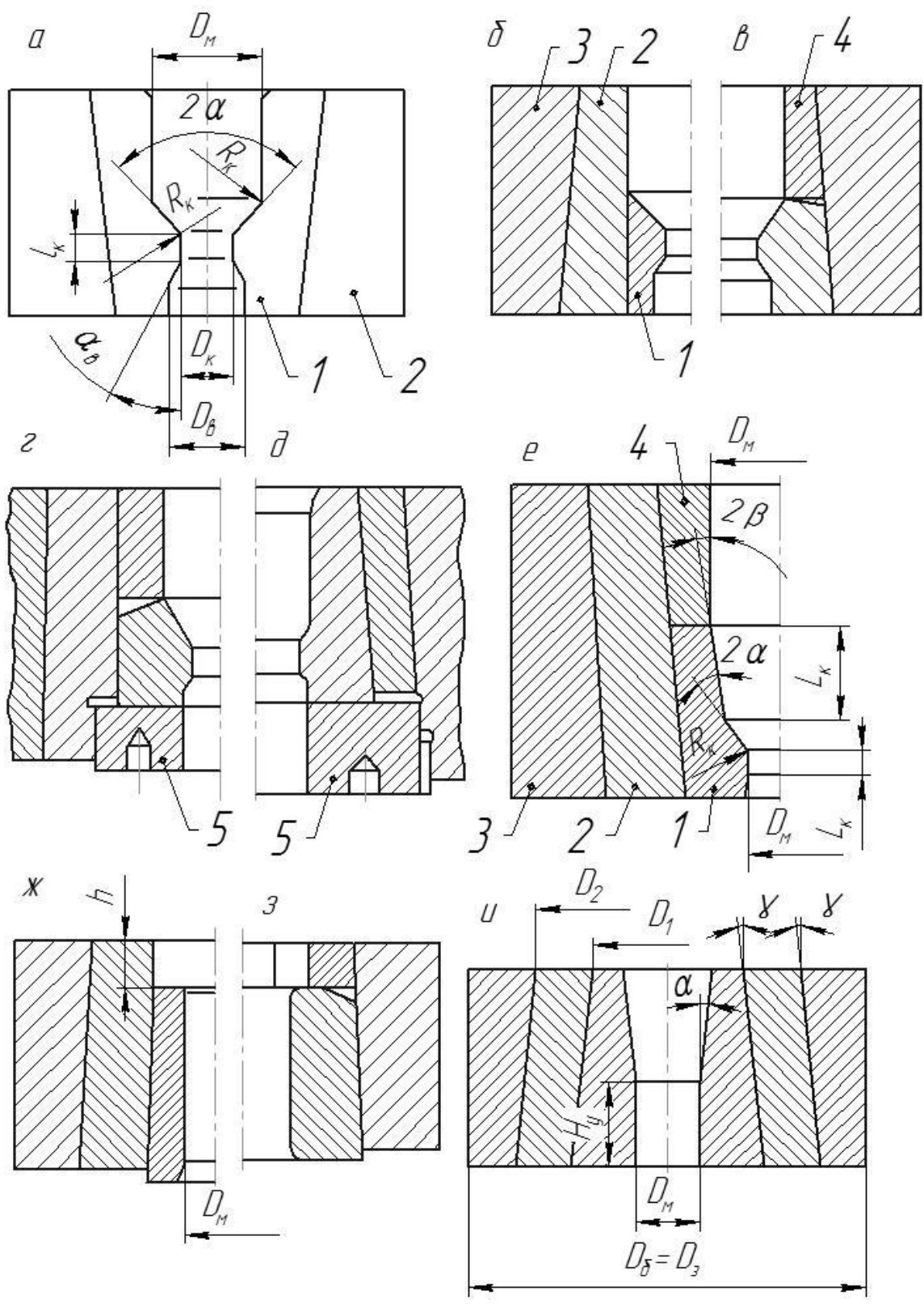


Рис. 5.16. Конструкції матриць для холодного видавлювання: 1 – вставка; 2, 3 – бандажі; 4 – кільцева вставка; 5 – гайка

Матриці (напівматриці) для поперечного видавлювання виконують з вертикальною циліндричною порожниною, яка переходить в поперечну кільцеву (див. рис. 5.16, ж) або каналну порожнину. Поперечну порожнину виконують або механічною обробкою в цілісній вставці, або шляхом поділу вставки, а іноді і бандажів за висотою. Радіальне видавлювання фланців великого об'єму доцільно виконувати в матриці (див. рис. 5.16, з). Радіус перехідної кромки матриці  $r_m$  впливає на граничну ступінь формозміни і зусилля розкриття поперечної порожнини роз'ємної матриці. Для матриць радіального видавлювання рекомендується  $r_m = (0,08...0,15) D_m$ .

Матриці для зворотного видавлювання деталей типу стаканів, як правило, володіють досить високою міцністю і стійкістю. Робочу порожнину матриці виконують циліндричною – при видавлюванні низьких ( $H/D \leq 1$ ) деталей або конічною з кутом  $\alpha = 0^\circ 20' \dots 0^\circ 45'$  – для видавлювання високих деталей (рис. 5.16, и). Висоту циліндричної частини матриці вибирають в межах  $H_y = (0,25...0,75) D_m$ .

Висоту матриці  $H_m$  розраховують за формулою

$$H_m = H_y + h_3 + (0,2...0,4) D_m \quad (2.2)$$

де  $h_3$  – висота заготовки.

При необхідності направлення пуансона в матриці передбачають додаткову сходинку для вводу центруючої втулки.

Особливістю матриць для холодного видавлювання являється їх бандажування. Цілісна матриця може витримати питомі зусилля в два рази менше, ніж межа текучості її матеріалу. Робочі напруження, що виникають в матриці, можна значно знизити, якщо замість цільних матриць використовувати збірні, отримані шляхом пресування на них з певним натягом бандажів. В результаті у вставки матриці створюються попередні напруження стиснення, за знаком протилежні напруженням, що виникають при видавлюванні. За кількістю бандажів матриці діляться на одно- і багато-бандажні. Якщо питомі зусилля видавлювання не перевищують 1500 МПа, то можна застосовувати однобандажні матриці.

Для великих питомих навантажень застосовують двухбандажні (див. рис. 5.16, и) і трибандажні матриці [6, 7].

Розміри бандажованих матриць (діаметрів  $D_i$ ) можна визначити в залежності від діаметра порожнини матриці  $D_m$  по співвідношенню [5]

$$D_i = k_a D_m, \quad (5.3)$$

де  $k_a$  – коефіцієнт, який визначається в залежності від питомого зусилля за табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Значення коефіцієнта  $k_a$

Діаметри	Питомі зусилля видавлювання, МПа		
	>1400	1400–1800	>1800
$D_1$	2,0	1,6	1,8
$D_2$	4,0	2,2	2,9
$D_3$	–	3,0...3,5	4,5

При зборці вставку в бандаж встановлюють в холодному стані з натягом. Для цієї мети поверхню сполучення виконують конічними з кутом нахилу твірної  $\gamma = 1^\circ 30' \pm 5'$ . Для розрахунку натягів багатобандажних матриць рекомендовано наступні співвідношення:

$$N_1 = (0,0055 \dots 0,0075) D_1;$$

$$N_2 = (0,0030 \dots 0,0040) D_2.$$

Менші значення  $k_a$  відносяться до великих діаметрів ( $D_m > 50$  мм).

При зворотному видавлюванні тонкостінних стаканів з високопластичних матеріалів, коли не потрібно виштовхування виробів, використовуються матриці з глухим дном (рис. 5.17). Порожнину матриці виконують з невеликою конусністю. Верхню кромку матриці заокруглюють або виконують фаску. Глухі матриці також доцільно виконувати збірними.

Опорна прокладка призначена для зменшення тиску, переданого пуансоном або виштовхувачем на плити штампа (див. рис. 5.1). Основні параметри прокладок – діаметр  $D_{on}$  і висота  $H_{on}$  – визначаються в залежності від діаметра опорної частини пуансонів за співвідношенням [7]:



$$D_{on} = (2,3...2,8) D_0; \quad H_{on1} = (1,0...1,25) D_0; \quad H_{on2} = (1,4...1,6) D_0.$$

де  $H_{on1}$  – для прокладки, яка спирається на гладку плиту;  $H_{on2}$  – для прокладки, яка спирається на плиту з отвором.

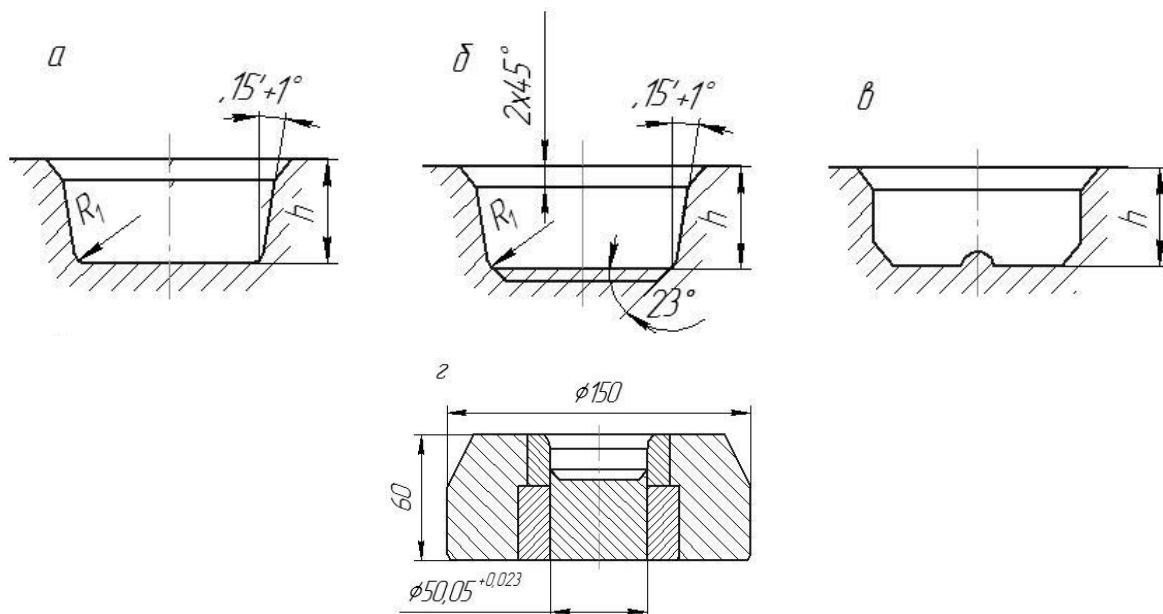


Рис. 5.17. Різновиди матриць з глухою порожниною

Рекомендується виконання опорних прокладок у вигляді усіченого конуса ( $\psi = 50...65^\circ$ ).

Для виготовлення робочих частин штампів холодного видавлювання використовують леговані інструментальні сталі, наведені в табл. 5.4 [3–7]. До якості структури сталі пред'являються підвищені вимоги. Карбідна неоднорідність заготовок для пуансонів має бути не більше 3-го балу, для матриць – не більше 4-го балу. Злам сталі в стані поставки повинен бути однорідним і дрібнозернистим.

### 5.3. Особливості розробки штампів з роз'ємними матрицями

Відмінність нових способів ХОШ на основі способів видавлювання, що містять схеми поперечної течії металу в тому, що використовуються технологічні інструменти і оснащення принципово іншого ускладненого конструктивного виконання [1, 8, 20, 37, 56–58, 79].

## Сталі, які рекомендовані для деталей штампів

Назва деталі	Питомі зусилля $p$ , МПа	Марка сталі	НRC після термообробки
Вставка матриць	До 1500 Більше 1500	X6BФ, 9X5BФ, X12Ф1 X12M, X12Ф1, X6B3ФM	56–58 56–58
Бандажі внутрішні		30XГСА, 5XHB, ШХ15	45–56
Бандажі зовнішні		5XHB, 40X, У10А, 30XГСА	38–40
Пуансони та виштовхувачі для холодного видавлювання	До 1500 1500–2200 2200–2600	X6BФ, 9X5BФ, X12Ф1, X12M X12M, P6M3, P6M5, 11X4Ф3C2B2M P6M5, P18, X5C4B2Ф2HM, 8X4B2CMФ	56–60 60–63 61–63 63–65
Оправки пуансонів прямого і поперечного видавлювання пустотілих деталей		X12M, X12Ф, P6M5, 8X4B2CMФ	58–60
Опорні прокладки		X6BФ, 9X5BФ, X12M, X12Ф1, P6M5	56–58 60–62
Пуансоно- та матрицетримачі		40X, 40XH, У10А	38–45

Головна відмінність штампів з роз'ємними матрицями, які використовуються для видавлювання, полягає в тому, що вони забезпечені вузлами затиску (замикання), призначеними для виконання нової функції затиснення напівматриць, що утворюють при змиканні робочу приймальну порожнину. Для подолання сил, спрямованих на розкриття складової матриці, виникла необхідність створення затискних вузлів (пристроїв), які ускладнюють конструкцію і налаштування штампів. Основною вимогою при створенні таких пристроїв є забезпечення жорсткого замикання складової матриці при робочому ході і легкого розмикання при знятті навантажень.

Найбільш прості у виконанні штампи з замикаючими вузлами, виконаними у вигляді пружного елемента або буферного пристрою, розміщеного в просторі штамп (рис. 1.29, а) або винесеного під стіл преса [57, 77, 78].

Застосування пакетів пружин в якості буферів призводить до лінійного і надлишкового росту сили замикання  $Q$  по ходу процесу (крива 2 на рис. 5.18, д). Затищення напівматриць з постійною або регульованою силою (криві 1, 3) можливе при використанні пневмо- або гідроциліндрів (див. рис. 5.18, б). З точки зору зниження енерговитрат більш кращі схеми з механічними замикаючими елементами (див. рис. 5.18, в і г), що сприяють замиканню сил розкриття матриці в штамповому блоці без їх передачі на повзун преса. Основні обмеження у використанні штампів з роз'ємними матрицями пов'язані з труднощами одночасного забезпечення надійного затищення при видавлюванні і швидкого та легкого розкриття матриці при зворотному ході преса.

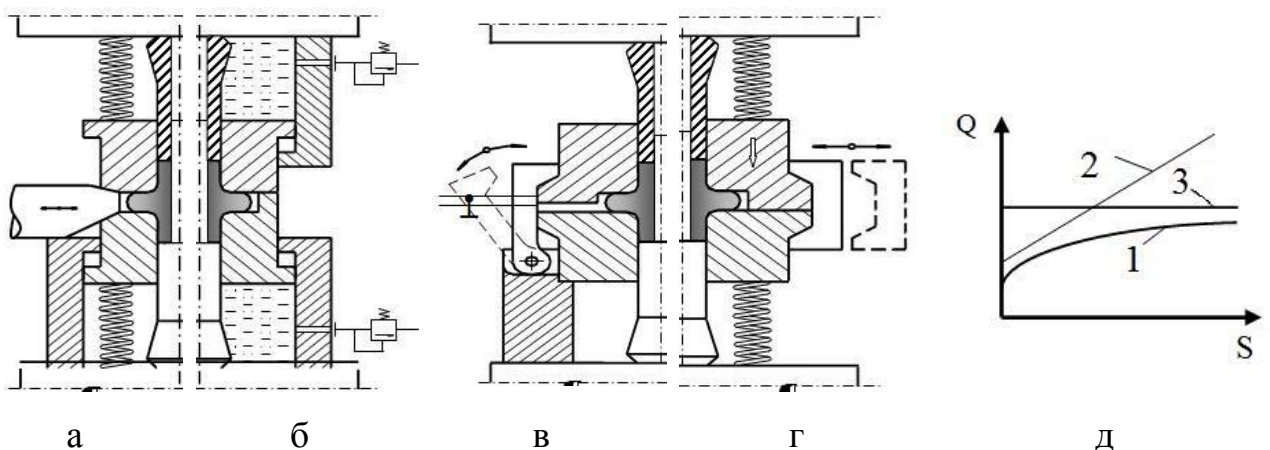
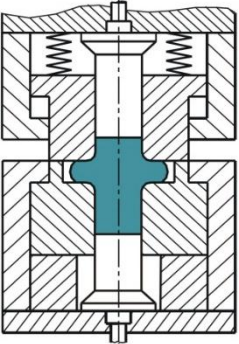
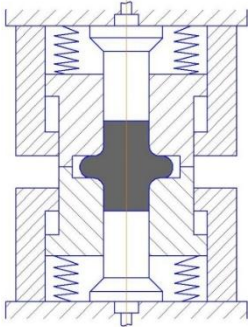
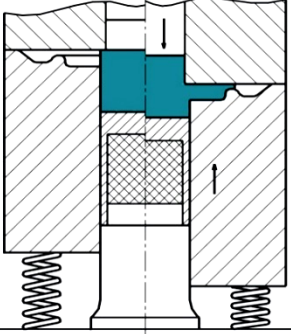
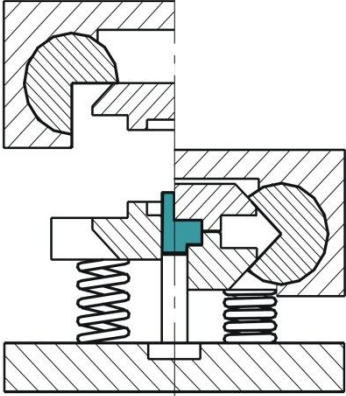
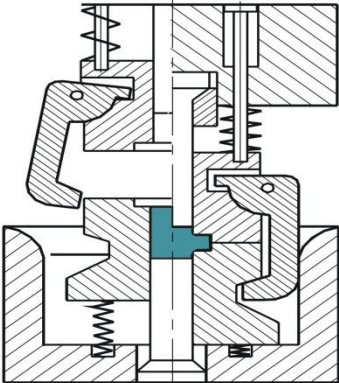
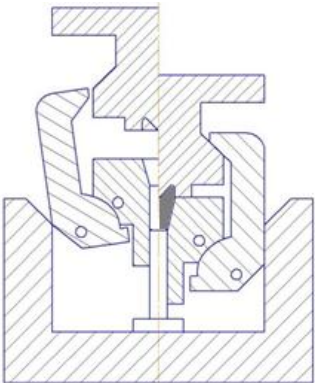
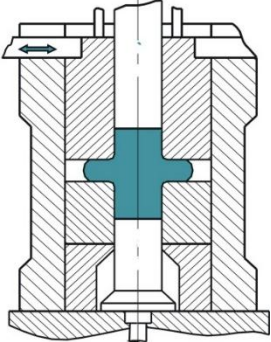
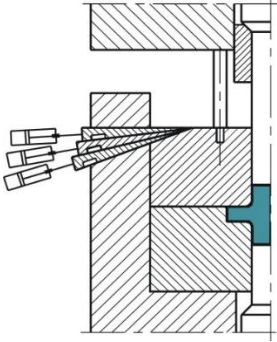
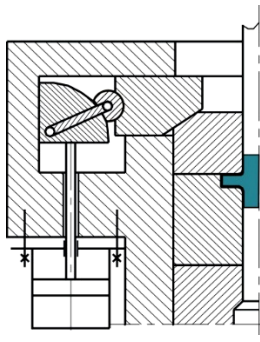
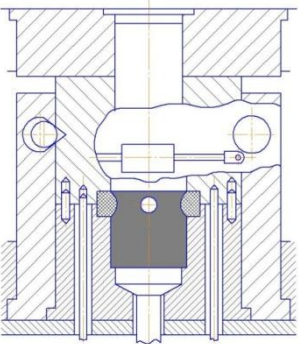
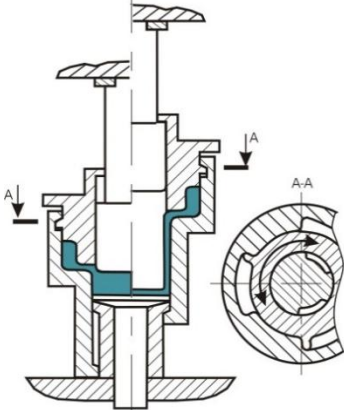
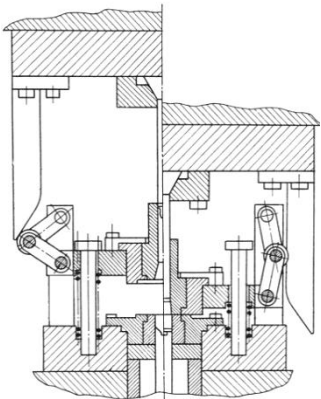
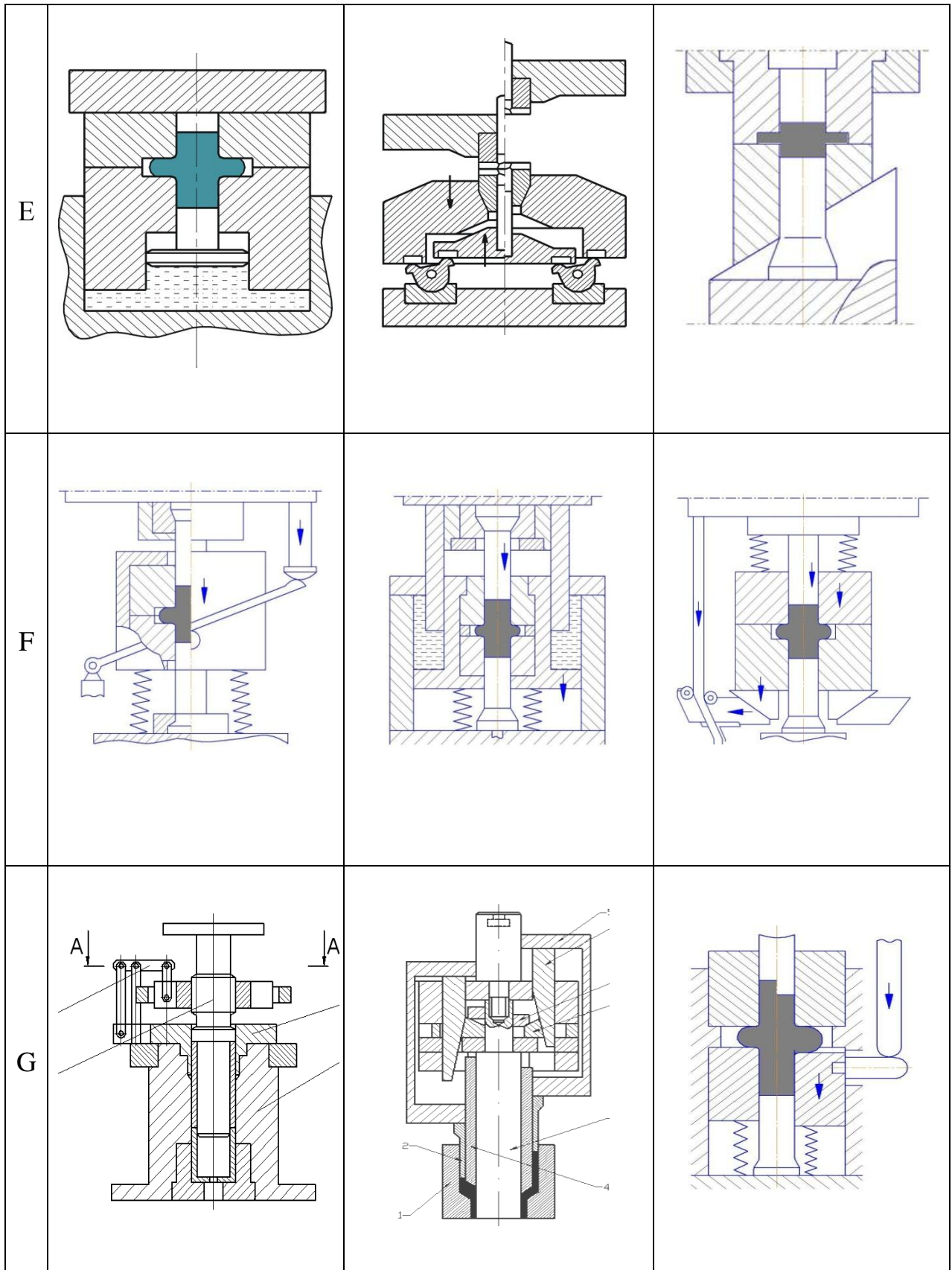


Рис. 5.18. Схеми штампів з замикаючими елементами і графік змінення сил замикання

Огляд сучасних підходів до проектування штампів з роз'ємними матрицями представлений в роботах [57, 78] і в оглядовій роботі [77], яка виконана в ДДМА. Деякі конструкції штампів, які детально розглянуті в цих роботах, наведені в табл. 5.5 і пояснені без посилань на конкретні патенти і авторів схем штампів.

Принципові схеми штампів с роз'ємними матрицями

	1	2	3
A			
B			
C			
D			



Найпростіші компоновальні схеми А1 і А2 містять підпружинену до опорних частин штампа напівматрицю [77, 78]. Передача сил затиснення матриці на повзун преса викликає значне (в 1,5–2 рази) збільшення енерговитрат, необхідних для пластичного деформування [78]. На зниження сил розкриття матриць спрямовані конструкції штамів, забезпечені різьбовими самогальмуючими елементами.

Цій меті служить і штамп (див.табл.1.3 схема А3), в якому пружна деформація протипуансона і сили тертя перешкоджають розкриттю матриці радіального видавлювання [77].

Штамп, в яких замикання поперечно-роз'ємної матриці здійснюється вирізними валиками (В1), поворотними скобами (В2, В3), приводними ригелями (С1), клинами або за допомогою поворотних ексцентриків (Д1) і байонетних механізмів (Д2), відрізняються замиканням сил розкриття в штампівому блоці без їх передачі на повзун преса [78].

Вони мають загальний недолік – труднощі в налагодженні і в забезпеченні швидкого розкриття матриць по завершенню видавлювання.

Штамп для радіального видавлювання (схема В3) містить механізм замикання, виконаний у вигляді двох важелів, шарнірно встановлених на основі з можливістю замикання верхньої напівматриці упорними виступами і забезпечених приводами розвороту.

При переміщенні зімкнутих напівматриць відбувається одночасне їх замикання шляхом повороту важелів до осі штампа.

Схеми груп С і Д (4–6) можна віднести до конструкцій, в яких здійснено незалежне замикання напівматриць, а схеми групи Е – до штампів з самозатисненням напівматриць.

Серед клинових механізмів замикання напівматриць оригінальністю відрізняється механізм затиснення (за а.с. 649197) у вигляді клина зі змінним кутом розкриття (схема С2), що полегшує розкриття матриць. Аналогічного результату можна досягти і при використанні клино-шарнірного затискного меха-

нізму, який розроблений у ДДМА (схема С3) [79].

У штампі для точного штампування вузол замикання матриці виконаний у вигляді охоплюючої матрицю обойми з розміщеними в ній ексцентриками з приводом їх повороту, які взаємодіють з клиновими пазами на бічній поверхні верхньої напівматриці (D1). У штампі для отримання поковок з фланцями для замикання напівматриць передбачений байонетний замок (схема D2). У близькому за виконанням штампі механізм силового замикання напівматриць виконаний у вигляді Г-подібних виступів і пазів під них.

Штамп (D3) має механізм затиснення напівматриць у вигляді пар шарнірно пов'язаних між собою важелів з роликом в зоні їх з'єднання. При змиканні напівматриць ролик важелів контактує з профільною ділянкою копіра і запобігає розкриттю напівматриць.

Сили розкриття при застосуванні розглянутих вище механізмів замикання в штампівому блоці, тобто не передаються на повзун преса. До недоліків важільних і клинових механізмів слід віднести складність розмикавання замикаючих пристроїв, можливість утворення на торцевій частині задирки, яка може привести до задирок на робочих поверхнях пуансонів і їх заклинювання.

У схемах групи Е використана ідея самозатискання напівматриць, але з підсумовуванням і передачею сил розкриття і деформування на повзун преса. Такі штампи придатні тільки для кінематичних варіантів видавлювання з односторонньою подачею. Цікаві штампи, в яких система важелів замінена механізмом затиснення напівматриць, який являє собою гідравлічний важіль (E1). Відомі варіанти застосування для цієї мети і механічних важелів (E2). Таким чином, за допомогою важеля виконання вузла замикання сила штампування використовується для затиснення напівматриць.

У штампі з клиновими повзунками при русі повзуна преса вниз проміжні призми під дією верхньої плити і похилих поверхонь центральної призми переміщуються і надають обоймі додатковий рух вниз (E3). Похилі поверхні вставок

переміщують рухливі повзунки з деформуючими пуансонами до центру і деформують заготовку [57].

В ДДМА запропоновані конструкції штампів з роз'ємними матрицями для виготовлення порожнистих і стрижневих деталей з потовщеннями або фланцем на зовнішній поверхні [77]. Особливістю схем штампів групи F є можливість реалізації нового способу поперечного видавлювання з двосторонньою подачею в рухомій матриці [37]. Для цього при видавлюванні одночасно з пуансоном в тому ж напрямку, але з меншою швидкістю, переміщують роз'ємну матрицю. Для цього використовуються проміжні механізми різного виконання (1–3), які слугують для односпрямованого з пуансоном переміщення опорного елемента і напівматриці, забезпечуючи тим самим одночасно затиснення і двосторонню подачу металу в осередок деформації. Ідея застосування важелів була викладена ще в пріоритетному патенті [37, 77] і отримала розвиток в варіаціях конструкції проміжного механізму у вигляді важільних механізмів (F1), гідравлічних перетворювачів (F2), клинових пристроїв (F3), а також зубчастих пар «шестерня-рейка» [77]. У роботах [57, 79, 80] розглянуті різні пристрої з рухомими напівматрицями для видавлювання фланців. Переміщення напівматриць може бути здійснено важільними механізмами (G1), за рахунок взаємодії клинів (схеми G2), а також за допомогою штовхачів (G3) або гідравлічного приводу.

Приклади впровадження штампів з роз'ємними матрицями свідчать про їхню перспективність і конкурентоспроможність. Завдяки інтенсифікації формозміни і зменшенню числа штампувальних переходів, застосування штампів з роз'ємною матрицею виявляється вигідним навіть для вісесиметричних поковок нескладної форми [33, 78].

Функціональний аналіз штампів і вузлів затиснення показує можливість генерування низки варіантів їх конструктивного виконання. Перш за все, є необхідність в реалізації кінематичних варіантів видавлювання в штампах з рухомими роз'ємними матрицями [77].



Для комбінованого радіально-зворотного видавлювання можуть бути ефективні штампи-автомати з перенесенням матриць з робочою позицією на позицію завантаження-видалення, на основі розроблених в ДДМА пристроїв револьверного або 2-х позиційного типу [77].

Для штампів з рухомими матрицями важливі питання їх розміщення і поетапного включення, а також напрямки при переміщенні, ускладненому пружною деформацією матриці і збільшенням її діаметральних розмірів.

Технологічна надійність і ефективність процесів ковальсько-штампувального виробництва багато в чому залежать від стійкості деформувального інструменту, умови роботи якого, як правило, ускладнюються пропорційно зростанню складності конструкції і вимог до якості і точності одержуваних виробів [2, 8].

Удосконалення конструкції з метою підвищення стійкості штампа вимагає аналізу всієї конструкції і, особливо, умов навантаження і експлуатації деформуючого і формотворного інструменту. При освоєнні нових процесів деформування конструкторсько-технологічні рішення спрямовані на зниження робочих зусиль і контактних тисків і поліпшення умов роботи інструменту [2, 57].

Конструкції спеціалізованих пресів подвійної дії дозволяють значно спростити технологічне оснащення, що використовується, а приклади промислового освоєння вказують на їх досить високу ефективність [22]. Для виробництва поковок зі складною зовнішньою поверхнею зі сплавів кольорових металів ефективні багатоплунжерні преси. Перспективними є преси подвійної дії [22], а також спеціалізовані преси для видавлювання в режимі активного тертя [24]. Стосовно до нових технологічних схем поперечного та комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання необхідна розробка технологічного обладнання, що дозволяє реалізувати різні кінематичні режими видавлювання, здійснювати роздільне переміщення матриць, пуансонів та їхніх частин. Ефективне виконання напівбезперервного деформування з багатштучних вихідних заготовок на пресах з цанговими затиск-

ними вузлами. Відзначено, що спроби реалізувати складні схеми деформування без створення спеціалізованого обладнання можуть бути невдалими [24], і вдосконалення технології штампування деталей складної форми повинно йти по шляху створення ділянок і цехів, на яких основним обладнанням повинні бути преси подвійної і потрійної дії [22, 24].

Оригінальні схеми штампів і установок для точного штампування видавлюванням деталей з фланцями запатентовані в США, Німеччині, Японії, Китаю, Росії [79, 80]. Інтелектуальні машини у вигляді керувальних обробних центрів можуть знайти застосування як в масовому, так і в серійному і дрібносерійному виробництвах [33].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А. Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
2. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987. – 144 с.
3. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – 496 с.
4. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. / Под ред. Е.И. Семенова [и др.]. – М.: Машиностроение. 1987. Т.3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого, 1987. – 384 с.
5. Кузнецу – штамповщику: Справочное пособие / Л.Н. Соколов, В.Н. Ефимов, Ю.А. Кащенко, И.С. Алиев [и др.] – Донецк: Донбасс, 1986. – 144 с.
6. Головин В.А. Технология холодной штамповки выдавливанием / В. А. Головин, А. Н. Митькин, А. Г. Резников. – М. : Машиностроение, 1970. – 152 с.
7. Холодная и полугорячая штамповка на прессах: Методические рекомендации / В. А. Головин, В.А. Евстратов, Л.И. Рудман [и др.]. – М.: НИИ-МАШ, 1981. – 73 с.
8. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография / Л. И. Алиева. – Краматорск: ООО «Тираж - 51». 2018. – 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.
9. Джонсон В. Механика процесса выдавливания металла / В. Джонсон, Х. Кудо. – М: Металлургия, 1965. – 174 с.
10. Соловцов С.С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах / С.С. Соловцов. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
11. Кроха В.А. Упрочнение металлов для холодной пластической деформации: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. - 155 с.
12. Филимонов Ю.Ф., Позняк Л.А., Штамповка прессованием. - М.: Машиностроение, 1964. – 140 с.

13. Навроцкий Г.А., Головин В.А., Евстифеев В.В. и др. Конструирование штампов для холодной объемной штамповки. - М.: НИИмаш, 1976. – 68с.

14. Навроцкий Г.А., Головин В.А., Евстифеев В.В. и др. Штампы для холодной объемной штамповки. - М.: НИИмаш, 1977. – 64 с.

### **ДОДАТКОВИЙ СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

15. Теорияковки и штамповки / Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров, В. А. Огородников [и др.]. Под общ. ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1992. – 720 с.

16. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с.

17. Данченко В. М. Теорія процесів обробки металів тиском / В. М. Данченко, В. О. Гринкевич, О. М. Головки. – Дніпропетровськ : Пороги, 2008. – 370 с.

18. Степанский Л. Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением / Л. Г. Степанский. – М. : Машиностроение, 1982. – 217 с.

19. Шестаков Н. А. Энергетические методы расчёта процессов обработки металлов давлением: учебное пособие / Шестаков Н.А. М.: МГИУ, 1998. –125 с.

20. Воронцов А. Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением : учеб. пособие : в 2 т. / А. Л. Воронцов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – ISBN 978–5–70038–3916–4.

21. Алюшин Ю. А. Теоретические основы энергетических методов расчета процессов обработки металлов давлением : Учебное пособие / Ю. А. Алюшин, С. А. Еленев – Ростов н/Д: РИСХМ, 1987. – 106 с.

22. Артес А. Э. Объемная штамповка в мелкосерийном и серийном производстве / А. Э. Артес. – М.: НИИМАШ, 1982. – 58 с.

23. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием / В. М. Авдеев, Л. Б. Аксенов, И. С. Алиев [и др.]; под ред. К. Н. Богоявленского, В. В. Риса. – Л.: Политехника, 1991. – 351 с.

24. Дмитриев А. М. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1. Объемная штамповка выдавливанием: учебник для вузов / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов. – М.: Машиностроение–1, 2005. – 500 с.

25. Данилин Г. А. Теория и расчеты процессов комбинированного пластического формоизменения / Г. А. Данилин, В. П. Огородников. – СПб.: БГТУ, 2004. – 304 с.

26. Соппротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением / Под ред. Д-ра техн. наук, проф. А. В. Лясникова. – СПб.: Внешторгиздат – Петербург, 1995. – 527 с.

27. Калюжний О. В. Інтенсифікація формоутворюючих процесів холодного штампування : монографія / О. В. Калюжний, В. Л. Калюжний. – К.: ТОВ «Сік Груп Україна», 2015. – 292 с.

28. Аксенов Л. Б. Системное проектирование процессов штамповки / Л. Б. Аксенов. – Л. : Машиностроение, 1990. – 240 с.

29. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов : монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.

30. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К.: УМК ВО, 1989.– 152 с.

31. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.

32. Кухарь В. В. Профилирование заготовок продольным изгибом под объемную штамповку поковок с изогнутой осью : монография / В. В. Кухарь. – Мариуполь: ПГТУ, 2016. – 181 с.

33. Артес А. Э. Алюминиевые сплавы в производстве деталей механизмов и машин (Штампованные поковки). Методические указания / А. Э. Артес. – М. : МГТУ «Станкин», 2004. – 56 с.

34. Строганов Г. Б. Сверхпластичность при обработке материалов давлением / Г. Б. Строганов, О. А. Кайбышев, О. Х. Фаткуллин. – М.: Изд-во МААТИ-РГТУ, 2000. – 93 с.

35. Umform- und Zerteiltechnik / Manuskript. Herausgeber: Prof. R. Neugebauer / Chemnitz: Fraunhofer-institut IWU, 2005. – 632 s.

36. Технологические процессы пластического деформирования в машиностроении / А. В. Алифанов, Л. В. Захаревич, Е. М. Макушок, Л. Д. Оленин. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 208 с.

37. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – №6. – С. 1–4.

38. Розов Ю. Г. Технологии изготовления прецизионных трубчатых изделий холодным пластическим деформированием : монография / Ю. Г. Розов. – Херсон: Изд-во ХНТУ, 2013. – 336 с.

39. Алиев И. С. Развитие локальных методов обработки металлов давлением / И. С. Алиев, В. А. Матвийчук // Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 201–205.

40. Гафуров Р. М. Прогрессивные технологии холодной объемной штамповки в ОАО «ГАЗ» / Р. М. Гафуров, Ф. П. Михаленко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2000. – №4. – С. 14–18.

41. Казаченок В. И. Штамповка с жидкостным трением / В. И. Казачек. – М.: Машиностроение, 1978. – 77 с.

42. Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / Ф. В. Гречников, А. М. Дмитриев, В. Д. Кухарь [и др.] – М. : Машиностроение, 1985. – 184 с.

43. Мороз Б. С. Расчет технологических параметров процессов прессования и волочения : учебное пособие / Б. С. Мороз, Г. Н. Баклаг. – Ростов н/Д : Дон. ГТУ, 2012. – 101 с.

44. Радченко С.Ю. Основные технологические процессы валковой штамповки / С.Ю. Радченко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2003. – №4. – С. 18–30.

45. Штамповка с кручением: монография / В. Н. Субич, В. А. Демин, Н.А. Шестаков, А.В. Власов. – М.: МГИУ, 2008. – 389 с.

46. Валиев Р. З. Парадокс интенсивной пластической деформации металлов / Р. З. Валиев, И. В. Александров // Доклады РАН. – 2001. – №1. – С. 34–37.

47. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций. / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин., Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. – Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. – 87 с.

48. Пасько А. Н. Холодная объемная штамповка осесимметричных заготовок: монография / А. Н. Пасько. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – 252 с.

49. Werner Niefer. Einsatz der Massivumformung in der Automobilindustrie // Umformtechnik. 1992. 266, S. 393-395.

50. Газизов Б. Я. Технологические возможности термофрикционной формовки стержневых заготовок / Б. Я. Газизов, В. А. Трусов // Кузнечно–штамповочное производство. – 1981. – № 7. – С. 8–10.

51. Калюжний В.Л. Створення високопродуктивних, ресурсозаощаджуючих технологій холодного об'ємного штампування / В.Л. Калюжний // Вісник НТУ України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – 2010. – № 60. – С. 19–24.

52. Алієв І.С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання / І.С. Алієв // Теорія та практика обробки матеріалів тиском. Колективна монографія. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. – С. 364-485. – ISBN 978-966-2906-60-8.

53. Алиев И.С. Интенсификация технологических процессов выдавливания полых деталей / И.С. Алиев, В.П. Еремин // Совершенствование процессов и машин обработки металлов давлением: сборник научных статей / Редкол.: Л. Н. Соколов (отв. ред.) [и др.] – К.:УМК ВО, 1988. – С. 9–18.

54. Ренне И.П. Технологические возможности процесса свободного выдавливания (без матрицы) полых деталей / И.П. Ренне, А.И. Сумарокова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – №6. – С. 25–26.

55. Алиев И. С. Методы и устройства для исследования контактного пластического трения при объемном пластическом деформировании / И. С. Алиев, К. Крюгер // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – №1. – С. 3–10.

56. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–10.

57. Горячая штамповка стальных поковок в разъёмных матрицах / А.В. Кузнецов, О.В. Протопопов, В.А. Блудов, А.А. Коноплин. – М. : НИИ-МАШ, 1968. – 80 с.

58. Алиев И.С. Технологические возможности радиально–прямого выдавливания / И.С. Алиев, О.К. Савченко, О.В. Чучин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – №11. – С. 21–25.

59. Журавлев А. З. Безотходное изготовление втулок машин для животноводческих ферм / А. З. Журавлев, Ю. Н. Верзилов, Г. А. Кузнецова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – №7. – С. 7–9.

60. Napf–Fließpressen mit mehreren bewegten Werkzeu­gelementen zur Reduzierung der Stempelkraft / Ch. Mletzko, M. Liewald, A. Felde T. Schiemann // Schmiede JOURNAL. – 2012, September. – P. 30–33.

61. Алиев И. С. Формоизменение при радиально-прямом выдавливании на оправке / И. С. Алиев, Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2008 – С. 171-176.

62. Катрич Ю. П. Комбинированное выдавливание сдвигом / Ю. П. Катрич, А. Н. Петров, П. А. Петров // Обработка материалов давлением. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (22). – С. 148–154.

63. Пат. 67960 А Україна, В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей з фасонною бічною поверхнею / Алієв І. С., Савченко О. К., Алієва Л. І., Чучин О. В.; власник ДДМА. – № 2003076832; заявл. 15.07.2004; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7.

64. Пат. 108586 Україна, МПК В21J 5/12, В21J 13/02. Пристрій для видавлювання порожнистих виробів з фасонною зовнішньою поверхнею / Л. І. Аліє-



ва, заявник і патентовласник ДДМА. – № u201600088; заявл. 04.01.2016; опубл. 25.07.2016. – Бюл. № 14.

65. Пат. 84078 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення деталей з бічними відростками / Л. І. Алієва, О. М. Бровкін, І. А. Деревенько, О. А. Жукова, В. В. Цимбаліст; заявник та патентовласник ДДМА. – № u201304310; заявл. 05.04.13; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19.

66. Пат. 104817 Україна, МПК В 21 К 22/04. Спосіб виготовлення деталей з фланцем / Л. І. Алієва; заявник та патентовласник ДДМА. – № u201506428; заявл. 30.06.15; опубл. 25.02.16, Бюл. № 4.

67. Огородников В.А. Ресурс пластичности металлов при холодном объемном формоизменении : монография / В.А. Огородников, И.А. Деревенько, Л. И. Алиева. – Винница: ВНТУ, ООО «Меркьюри–Подолье» 2016. – 176 с. – ISBN 978–966–2696–69–1.

68. Пат. 117796 Україна, В 21 К 21/00. Спосіб одержання порожнистих виробів з тонким дном / Л. І. Алієва, П. Абхарі, Х. В. Гончарук, Л. В. Таган. – заявник і патентовласник ДДМА. – № u201700272; заявл. 10.01.2017; опубл. 10.07.2017. Бюл. №13.

69. Пат. 107950 Україна, МПК В 21 J 5/12, В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакана / Л. І. Алієва, Х.В. Гончарук, О.В. Шкира, Р.І. Сивак; заявник та патентовласник ДДМА. – № u201513100; заявл. 30.12.15; опубл. 24.06.16, Бюл. № 12.

70. Пат. 59104 Україна, МПК В21 К 21/00. Спосіб виготовлення заготовок із підвищеними механічними властивостями / Алієв І. С., Алієва Л. І., Жбанков Я. Г.; заявник і патентовласник ДДМА. – № u 201009176; заявл. 21.07.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.

71. Пат. 73920 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення деталей з наскрізним отвором / Алієв І. С., Алієва Л. І., Бондарева О. М.; заявник і патентовласник ДДМА. – № u 201204045; заявл. 02.04.2012; опубл. 10.10.2012. – Бюл. № 19.

72. Пат. 32102 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб розділення сортового прокату на заготовки / Алієв І. С., Алієва Л. І., Жбанков Я. Г., Косенко М. В.;

власник ДДМА. – № у 200711369 ; заявл. 12.05.2008 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

73. Алиева Л.И. Прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании / Л.И. Алиева, Ю.И. Гуменюк, Д.В. Усманов // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – С. 515–520.

74. Калюжний В.Л. Порівняльний аналіз процесів зворотного видавлювання і прямого видавлюванням з роздачею вісесиметричних виробів з порожниною постійного діаметру / В.Л. Калюжний, Л.І. Алієва, І.П. Куліков // Обработка материалов давлением. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 4 (37). – С. 87–92.

75. Пат. 74207 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення деталей типу втулок / Алієв І.С., Алієва Л.І., Бондарева О.М., Гаріфуліна А.Р.; заявник і патентовласник ДДМА. – № у 201202793; заявл. 12.03.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.

76. Алиева Л.И. Анализ заполнения полости штампа в процессе радиального выдавливания / Л. И. Алиева, П. Абхари, Е. Н. Бондарева // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування» – Київ, 2011. – № 63. – С. 285–288.

77. Разработка штампов для выдавливания в разъемных матрицах / П.Б. Абхари, Л.И. Алиева, И.С. Алиев, А.А. Еремина // Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2016. – №1(42). – С. 223–231.

78. Смуров А.М. Из опыта разработки, освоения и внедрения штампов с разъемной матрицей для металло-экономной штамповки / А.М. Смуров // Кузнечно-штамповочное производство. – 1992. – №6. – С. 5–8.

79 Карнаух С.Г. Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества : монографія. – Краматорск: ДГМА, 2010. – 196 с.

*Навчальне видання*

**АЛІЄВА Лейла Іграмотдіновна  
ТАГАН Любов Вікторівна**

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ  
ПРОЦЕСИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

**Посібник**

**для студентів спеціальностей  
131 «Прикладна механіка», 136 «Металургія»  
денної та заочної форм навчання**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання

Х. В. Малій

28/2020. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 11,03.  
Обл.-вид. арк. 7,19. Тираж 25 пр. Зам. № 15

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