

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

І. С. Алієв

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

ПОСІБНИК

**для здобувачів третього освітньо-наукового рівня
вищої освіти за спеціальностями
131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство»,
136 «Металургія»
денної та заочної форм навчання**

Затверджено
на засіданні вченої ради ДДМА
Протокол № 3 від 31.10.2024

Краматорськ – Тернопіль
ДДМА
2024

Рецензенти:

Тітов В. А., д-р техн. наук, професор, професор кафедри «Технологія виробництва літальних апаратів», Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ;

Кухар В. В., д-р техн. наук, професор, проректор із науково-дослідної роботи, ТОВ «Технічний університет "Метінвест Політехніка"», м. Запоріжжя.

Алієв, І. С.

А 50 Перспективні технології обробки металів тиском : посібник для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / І. С. Алієв. – Краматорськ ; Тернопіль : ДДМА, 2024. – 180 с.

ISBN 978-617-7889-96-9

У посібнику наведено перспективні технології обробки тиском, засновані на оригінальних способах деформування і спрямовані на підвищення продуктивності і якості виробів. Розглянуті питання розробки технологій точного штампування на основі нових способів видавлювання з регулюванням кінематичних та силових впливів. Показані можливості технологій локального та ізотермічного деформування, гідропресування, гідроформування та способів інтенсивного пластичного деформування.

УДК 621.7.01 (075.8)

© І. С. Алієв, 2024.

© ДДМА, 2024.

ISBN 978-617-7889-96-9

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ.....	8
1.1 Напрямки розвитку процесів пластичного формоутворення....	8
2 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРОЦЕСИ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ.....	18
3 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРОЦЕСИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ.....	26
3.1 Базові способи видавлювання.....	26
3.2 Виготовлення порожнистих конічних виробів.....	36
3.3 Способи комбінованого видавлювання.....	39
3.4 Перспективні способи видавлювання.....	46
3.5 Проектування процесів точного об'ємного штампування прецизійних деталей.....	61
3.5.1 Методика проектування технологій холодного видавлювання...	61
3.5.2 Технологічні процеси видавлювання типових деталей.....	68
3.6 Особливості проектування технологічного оснащення для процесів точного об'ємного штампування.....	83
3.6.1 Штампи для видавлювання типових деталей.....	83
3.6.2 Особливості конструкцій штампів із роз'ємними матрицями.....	94
3.6.3 Відрізні штампи.....	102
3.6.4 Пристрої для дослідження фактору контактного тертя.....	104
4 ЛОКАЛЬНІ МЕТОДИ ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ	115
4.1 Торцева розкатка кільцевих деталей.....	115
4.2 Штампування способом сферорухомої обкатки.....	121
4.3 Накатування різьб і профілів.....	123
4.4 Поперечно-клинова прокатка.....	126
4.5 Поперечно-гвинтова прокатка.....	129

5 ПРОЦЕСИ ІНТЕНСИВНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ.....	132
6 ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ РІДИНОЮ.....	139
6.1 Гідроекструзія (видавлювання рідиною високого тиску).....	139
6.2 Технології гідроформування трубчастих деталей.....	142
6.3 Технології гідромеханічного формування листового матеріалу.....	146
6.4 Високоенергетичні технології штампування.....	150
7 ТЕХНОЛОГІЇ НАДПЛАСТИЧНОЇ ТА ІЗОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ.....	155
7.1 Процеси надпластичного деформування матеріалів.....	155
7.2 Ізотермічне штампування.....	160
ЛІТЕРАТУРА.....	165
Додаток А. Перелік завдань для самостійної роботи.....	176
Додаток Б. Питання для самоконтролю.....	178

ВСТУП

Розвиток машинобудування в сучасних умовах нерозривно пов'язаний із впровадженням перспективних технологій формоутворення в заготівельному виробництві і підвищенням розмірної точності і якості заготовок. Це є також найважливішим резервом заощадження енергетичних, матеріальних та трудових ресурсів. У сучасному виробництві поширюються сфери застосування процесів, заснованих на пластичній деформації, яка дозволяє отримати точні розміри заготовок, високу якість поверхонь, а, отже, скоротити, а іноді й повністю виключити подальшу обробку різанням. Альтернативним та досить перспективним способом можуть слугувати комбіновані процеси деформування, які дозволяють значно підвищити пластичність та зменшити силові параметри за рахунок використання фізичних ефектів, додаткових силових і кінематичних впливів, підвищення кількості ступенів свободи течії металу.

Масштаби застосування процесів обробки матеріалів, заснованих на нових оригінальних способах, постійно зростають в усіх галузях промисловості, особливо в машинобудуванні. Розширюється випуск обладнання і оснащення, які задовольняють технічні вимоги, росте перелік і обсяг нових матеріалів, що підвищують вимоги до технологій пластичного формоутворення деталей.

Рішення даних проблемних завдань призвело до використання нових наукоємних технологій обробки металів тиском, до яких у першу чергу відноситься точне об'ємне штампування (ТОШ), що дозволяють отримати заготовку, максимально наближену до готового виробу за параметрами форми та розмірів.

Традиційні методи отримання холодним деформуванням прецизійних деталей – це холодне висаджування за декілька послідовних переходів, деформування за простими схемами поздовжнього прямого або зворотного видавлювання. Значному поширенню можливостей процесів видавлювання

служують нові способи поперечного (радіального і бокового) видавлювання у роз'ємних матрицях, які дозволяють виготовляти деталі раніше недоступних складних форм. Обмеження на переходах пов'язані з граничними навантаженнями на інструмент при прямому видавлюванні, що змушує зменшувати ступінь деформації. Інші обмеження пов'язані із втратою стійкості заготовки, що висаджується. У зв'язку із цим перспективним методом може слугувати комбіноване видавлювання, здійснюване у тому числі за схемами поперечно-поздовжнього видавлювання. Процеси комбінованого видавлювання дозволяють значно зменшити силу деформування, підвищити якість і експлуатаційні властивості виробів, досягти високої продуктивності праці.

Новітні процеси інтенсивного пластичного деформування (ШД) сприяють отриманню виробів із заданими експлуатаційними характеристиками, особливими структурою й унікальними властивостями.

Процеси локального деформування, деформування рідиною високого тиску, ізотермічне та надпластичне штампування та інші способи дозволяють отримати якісні заготовки, максимально наближені до готового виробу за параметрами властивостей, форми та розмірів, із нових матеріалів із меншими енерговитратами.

У посібнику наведено опис ресурсозберігаючих технологій об'ємного пластичного деформування з урахуванням новітніх досягнень у галузі обробки металів тиском. Дано аналіз напрямків і перспектив розвитку технологій обробки тиском і існуючих обмежень для використання цих технологій. Наведено нові технології обробки, які засновані на оригінальних способах пластичного деформування і спрямовані на підвищення продуктивності процесів формозмінення і підвищення якості виробів. Основну увагу приділено питанням розробки технологій точного об'ємного штампування на основі створення нових способів видавлювання прецизійних складнопрофільованих деталей із регулюванням кінематичних та силових впливів, конструювання штампів для нових способів видавлювання, а також оцінці їх технологічних можливостей і особливостей. Розглянуто

також використання технологічного оснащення для вирішення проблем дослідження та оцінки умов пластичного деформування в процесах об'ємного штампування. Показано різновиди та можливості технологій локального деформування, ізотермічного та надпластичного деформування, а також способів гідроекструзії, гідроформування та імпульсних методів обробки, застосування яких дозволяє значно поширити можливості процесів ОМТ.

Посібник призначено для аспірантів, які навчаються за напрямком галузі знань «Механічна інженерія» та ведуть дослідження за такими напрямками, як «Технологія ковальсько-штампувального виробництва», «Ресурсозберігаючі процеси ОМТ», «Технології холодного деформування». Мета видання – надати аспіранту основні відомості сучасного рівня щодо створення наукоємних технологій обробки пластичним деформуванням. Це надає можливість для оперативної оцінки технологічних можливостей і особливостей нових способів обробки тиском та використання їх у якості об'єктів і предметів дисертаційних досліджень. Це, у свою чергу, створює умови для забезпечення наукової новизни робіт і ефективного впровадження розроблених перспективних технологій ТОШ у промисловість.

Посібник також буде корисним для магістрантів і для студентів, які навчаються за Програмою роботи з обдарованими студентами.

1 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Напрямки розвитку процесів пластичного формоутворення

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

Інтенсивний розвиток технологій об'ємного формоутворення деталей машин в останні роки засновано на фундаментальній науковій і практичній базі, створеній працями вітчизняних та зарубіжних вчених, що працюють в області теорії і технології обробки матеріалів у ливарному, ковальсько-штампувальному та зварювальному виробництві.

Інтенсивний розвиток технологій обробки металевих матеріалів тиском в останні роки засновано на фундаментальній науковій базі, створеній працями вітчизняних та зарубіжних вчених, що працюють в області теорії і технології обробки металів тиском (ОМТ). 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. 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, НІПАвтопром, НІПТМАШ, ЕНІКМАШ и др.) та вузів (ДДМА, НТУУ «КПІ», НТУ «ХПІ», ВНТУ, 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 рухомих (молотом, пуансоном) і нерухомих (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 [1–5].

У технологіях пластичного деформування можна відзначити, як загальну, тенденцію до поєднання операцій та комбінування технологічних прийомів і методів обробки. Процеси, в яких комбінуються різні способи обробки тиском, використовуються як у виробництві куванням великих поковок, так і при виготовленні штампуванням середніх і прецизійних виробів [6–10].

Прагнення до комбінування фізичних ефектів і прийомів призвело в обробці матеріалів до створення ряду оригінальних і нетрадиційних технологій, таких як ізотермічне та надпластичне штампування, тіксоштампування, комбіновані процеси «лиття + штампування», деформування порошкових заготовок, зварювання тиском і т. д. [11–20].

Успішно розвиваються способи гідромеханічного, гідростатичного і гідродинамічного пресування, обробки в електромагнітному, електроімпульсному або в ультразвуковому полі, а також способи локального пластичного деформування, які є ефективним методом обробки нових матеріалів, що мають невелику пластичність та важко деформуються [21–25].

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 [2–4, 8, 10], усунення руйнування і відхилень форми деталей за рахунок керування пластичною течією і, відповідно, переважаючою схемою НДС [4, 8, 11, 13]. Нові можливості в інтенсифікації формозміни і створенні необхідного виду деформацій, що забезпечують найкраще опрацювання структури, відкривають процеси комбінованого впливу: осадження із зсувом, штампування з крученням [3, 22–25], штампування з рідинним тертям [16], деякі нетрадиційні схеми штампування і пресування з корисним використанням додаткових сил та сил тертя [3, 13, 15, 26, 27].

У зв'язку з цим дуже перспективними є нові способи інтенсивної пластичної деформації (ІПД): видавлювання в рівноканальній матриці (процеси простого зсуву)[28–34], знакозмінне деформування [29], гвинтова екструзія [30, 31] і різноосьове кування [32, 33], розширююча екструзія, що дозволяють досягти якісного стрибка результатів холодної пластичної деформації за рахунок накопичення в об'ємних заготовках великих пластичних деформацій. Унаслідок цього в оброблюваних заготовках формується ультрадрібнозерниста (нано-) структура і вони набувають унікальних властивостей [28].

Перспективним є процес здійснення послідовних операцій, який отримав назву комплексного заготівельно-розділового процесу (КЗРП). КЗРП полягає у відділенні заготовки від прутка, калібруванні, відпалі і підготовці поверхні на одній технологічній позиції [3, 11]. Якісна підготовка поверхні і структури заготовки до холодної деформації є важливою умовою стабільного протікання процесу.

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 [3, 22–25]. 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, а також впливу обертовими інструментами (термофрикційне видавлювання, локальне деформування та ін.) [3, 22, 25]. 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. 1.1.

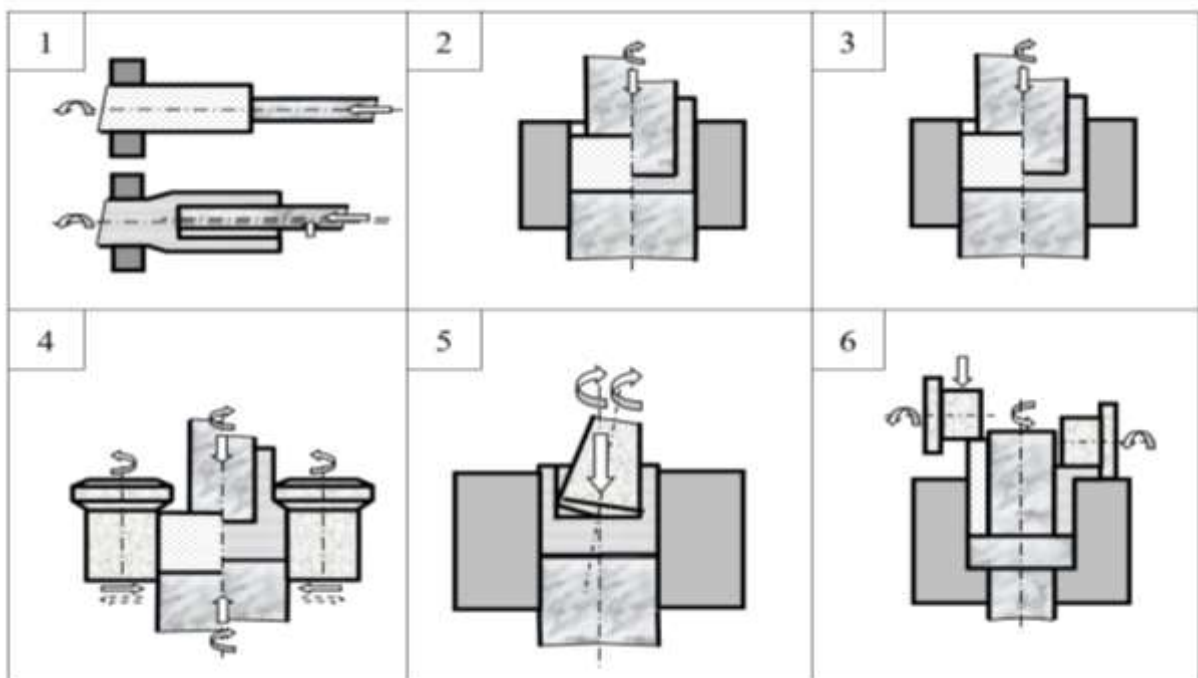


Рисунок 1.1 – Способи виготовлення прецизійних деталей із різною кінематикою руху інструменту

За способом термофрикційного формування (схема 1) зниження сили деформування забезпечується за рахунок локального нагрівання до кувалльної температури ділянки заготовки, що піддається деформації. Надання пуансону, який деформує, при зворотному видавлюванні додаткового 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. У деяких роботах [10] 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.

Цікаві можливості мають методи сферорухомого і валкового штампування (див. рис. 1.1, схеми 3 і 4), в яких одночасно відбувається поєднання видавлювання і локального деформування поверхні заготовки роликками (валками), які виконують функцію напівматриці. Таке комбіноване навантаження дозволяє отримувати за рахунок інтенсифікації пластичної течії складні осесиметричні деталі або кільця на одній позиції обробки [3, 26].

Зворотне видавлювання порожнистої заготовки в процесі холодного торцевого розкочування конічним деформуючим інструментом представлено на схемі 5 (див. рис. 1.1) [3]. Оформити фланці у втулок або кілець можна в процесі торцевого розкочування циліндричним (див. рис. 1.1, схема б) або конічними інструментами. 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. Можна відзначити загальну тенденцію до заміни сталей алюмінієвими і легкими сплавами. У виробництві сучасних машин і приладів, озброєнь спостерігається тенденція до застосування сплавів, які мають хороші експлуатаційні властивості, але разом з тим зі зниженою пластичністю.

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.

Технологічні способи видавлювання відрізняються різноманіттям можливостей і високою ефективністю в порівнянні з іншими процесами формоутворення деталей. Процеси обробки тиском також демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва, розширення номенклатури деталей і матеріалів.

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 при розробці нових технологій ОМТ є перспективним.

Пошук і аналіз результатів попередніх досліджень і технічних рішень проблеми підвищення ефективності технологій ОПФ ведуть 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 в роботі [4, 5, 13], а фрагменти огляду наведені на рис. 1.2. Для всіх процесів обробки матеріалів характерні подібні проблеми і завдання, розглянемо їх особливості стосовно технологіям ОПФ.

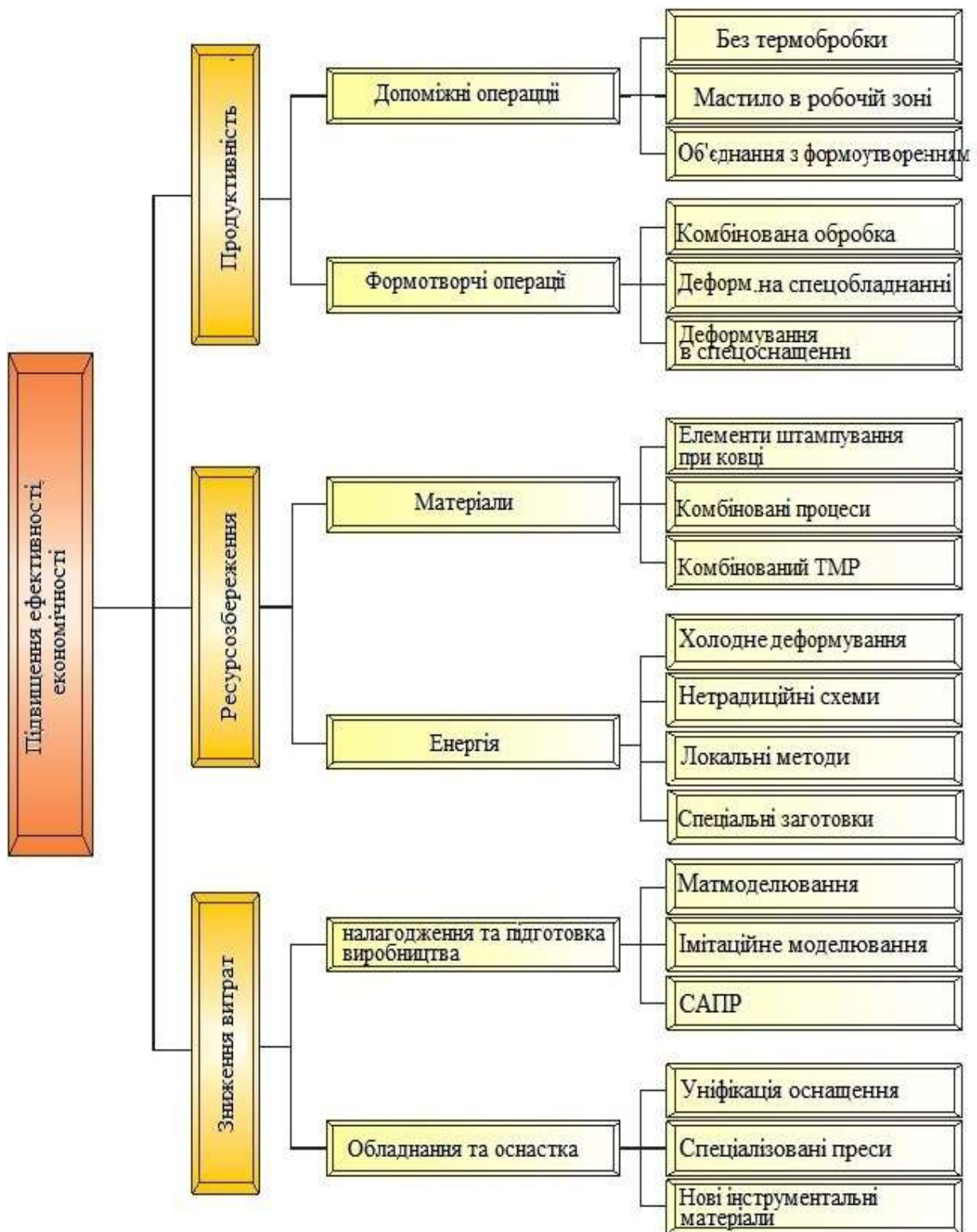


Рисунок 1.2 – Шляхи удосконалення процесів об'ємного штампування шляхом підвищення їх ефективності та економічності (аркуш 1)

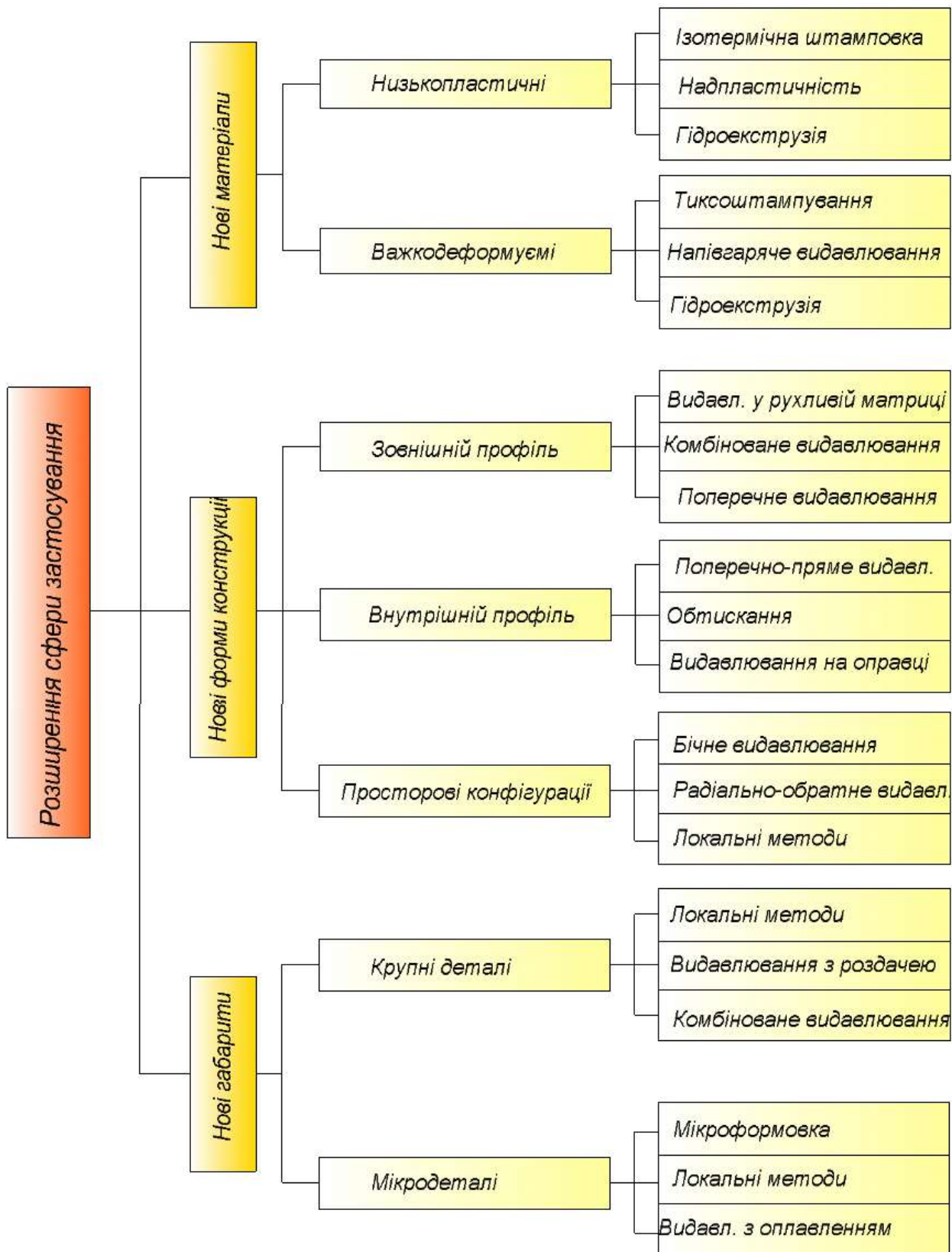


Рисунок 1.2 – Аркуш 2

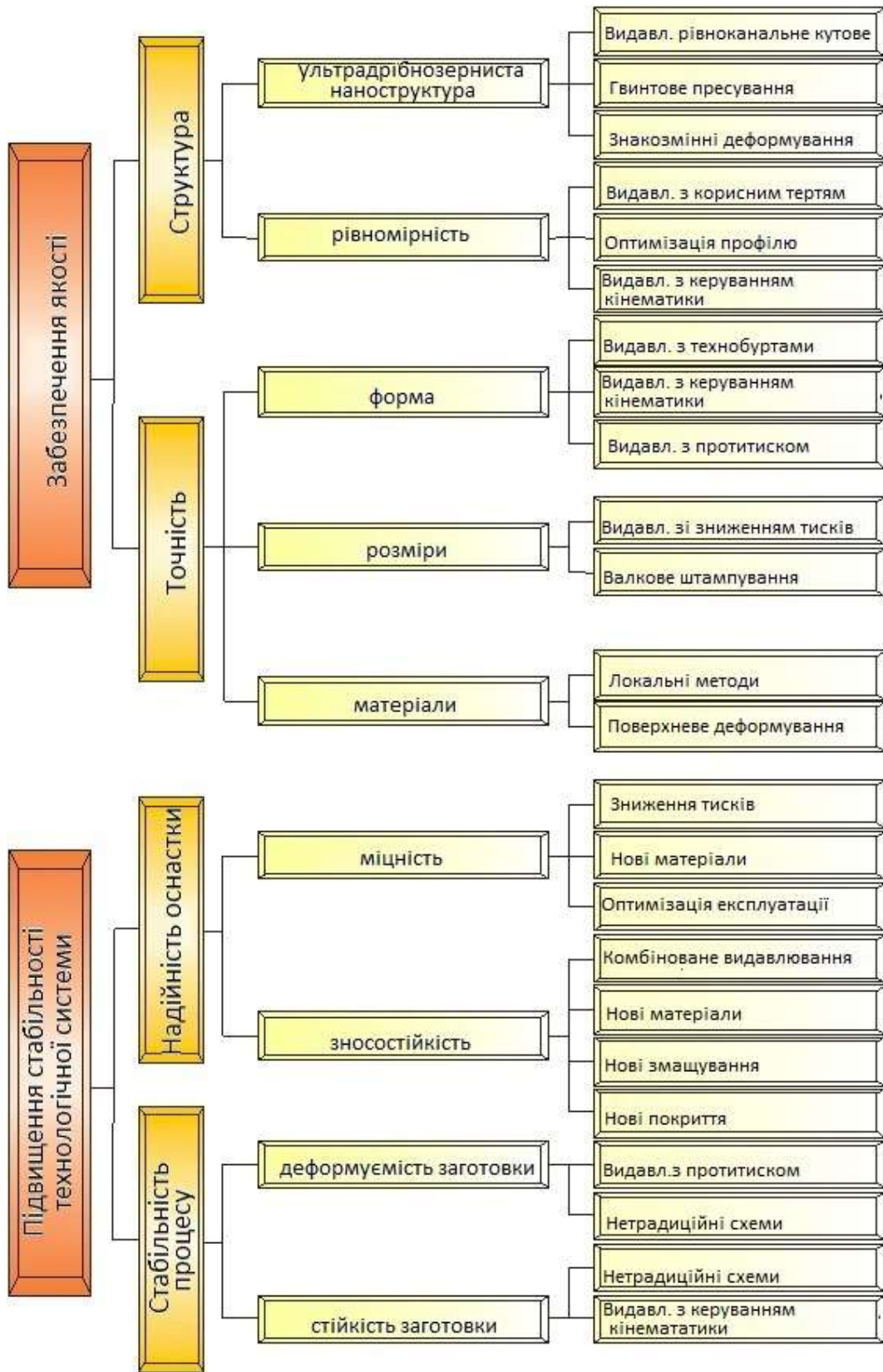


Рисунок 1.2 – Аркуш 3

Цілями вищого рангу прийняті найбільш загальні показники, які складають ефективність технологічної системи, 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.

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:

- 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. 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.

2 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРОЦЕСИ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

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 [2–4].

Серед перспективних процесів заготівельного виробництва чільне місце займають процеси обробки тиском, зокрема технології точного об'ємного деформування (ТОШ). 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 [6–8, 13]. 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.

Тому технології холодного об'ємного штампування (ХОШ) відносяться к найбільш перспективним методам виготовлення прецизійних, майже готових деталей машин і приладів [2, 4, 8]. До ХОШ відносять процеси отримання заготовок, у яких розміри, форма і якість поверхонь максимально наближені до аналогічних параметрів готової деталі, унаслідок

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 [2].

Розглянемо різновидності способів ХОШ, а також призначення і область їх застосування (рис. 2.1).

Процес відкритої осадки (схема А1) призначений для зменшення відносної висоти заготовки H/D і забезпечує калібрування вихідних заготовок для видавлювання по висоті 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.

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 із ґратом.

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 шліцами і канавками методом обтиснення заготовок з малим ступенем деформації.

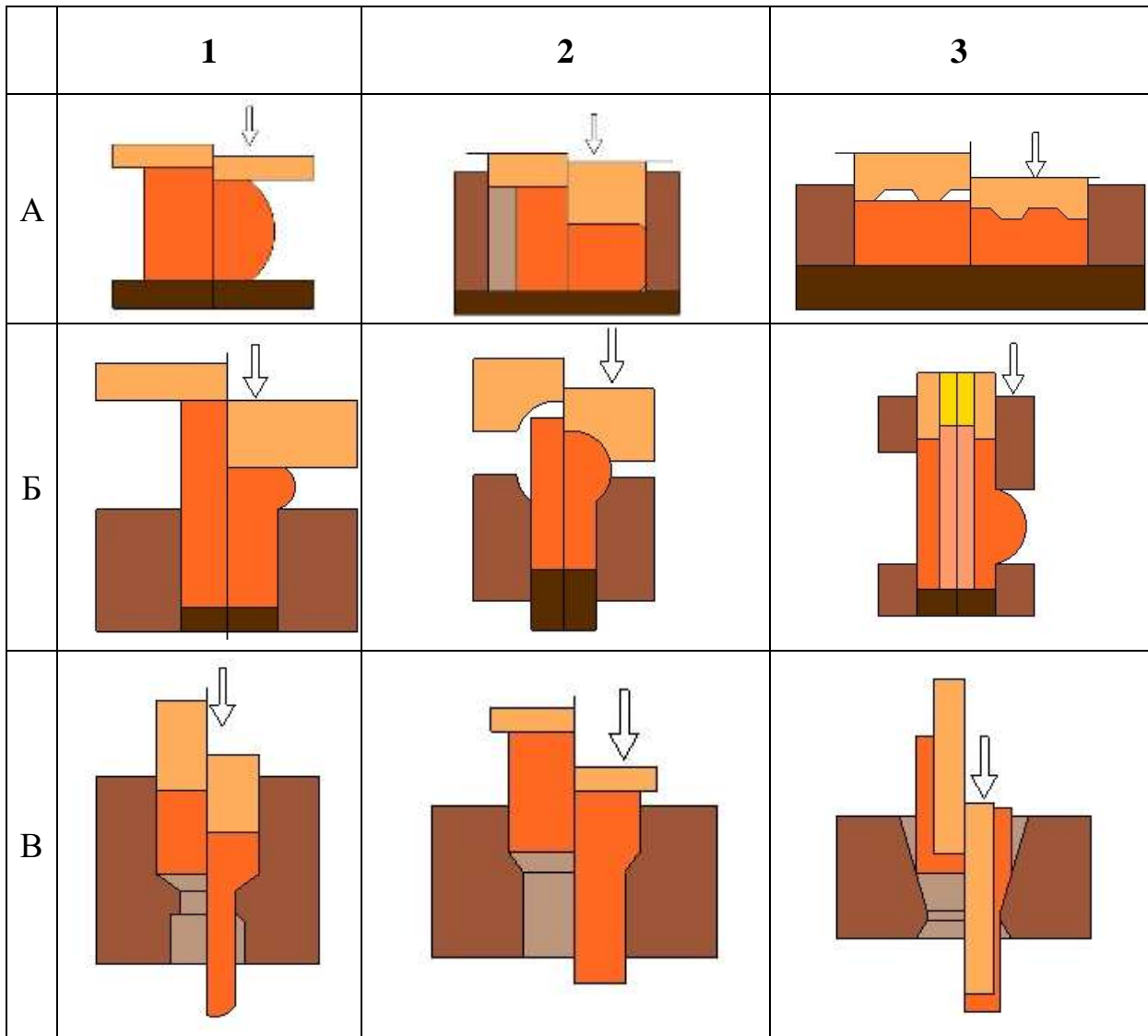


Рисунок 2.1 – Способи холодного об'ємного штампуння

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.

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 або внутрішньою поверхнею, втулки, які мають ребра та ступені, стакани і коробки зі змінною товщиною стінки, гайки кріплення колеса, обойма стартера, втулка заднього колеса велосипеда, стрижні з конічними елементами, конічні стакани 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 [2–4, 10–13].

У приладобудуванні успішно реалізовано видавлювання деталей типу коробок із сплавів кольорових металів [2, 11].

Деформування на оправці використовують при отриманні порожнистих складнопрофільованих деталей типу шестерень, анодів з оребреною поверхнею [2] 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 [2, 12], вільне (безматричне) видавлювання порожнистих деталей, видавлювання з локальним навантаженням [3,4, 22].

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. 2.2) інтенсифікація деформування досягається за рахунок корисного використання дії сил контактної тертя або натягу [14]. Реактивне тертя виявляється також корисним, оскільки сприяє підвищенню гідростатичного тиску в осередку деформації (схема 1) [4].

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 і вирівнюють торці деталей складної конфігурації.

За рахунок створення сил натягу в схемах 4–6 (див. рис. 2.2) силу деформування зменшується на 30–37 % [31]. Схема з рухомим контрпуансоном застосовувалася для виготовлення стакану з ребрами або тонкостінної втулки. Як відомо, перетворення реактивних сил тертя в активні дозволяє знизити силу деформування до 30 % [2, 6]. Аналогічні дослідження, проведені в Інституті ОМТ Штутгартського університету, також демонструють ефективність створення додаткових впливів на заготовку [26].

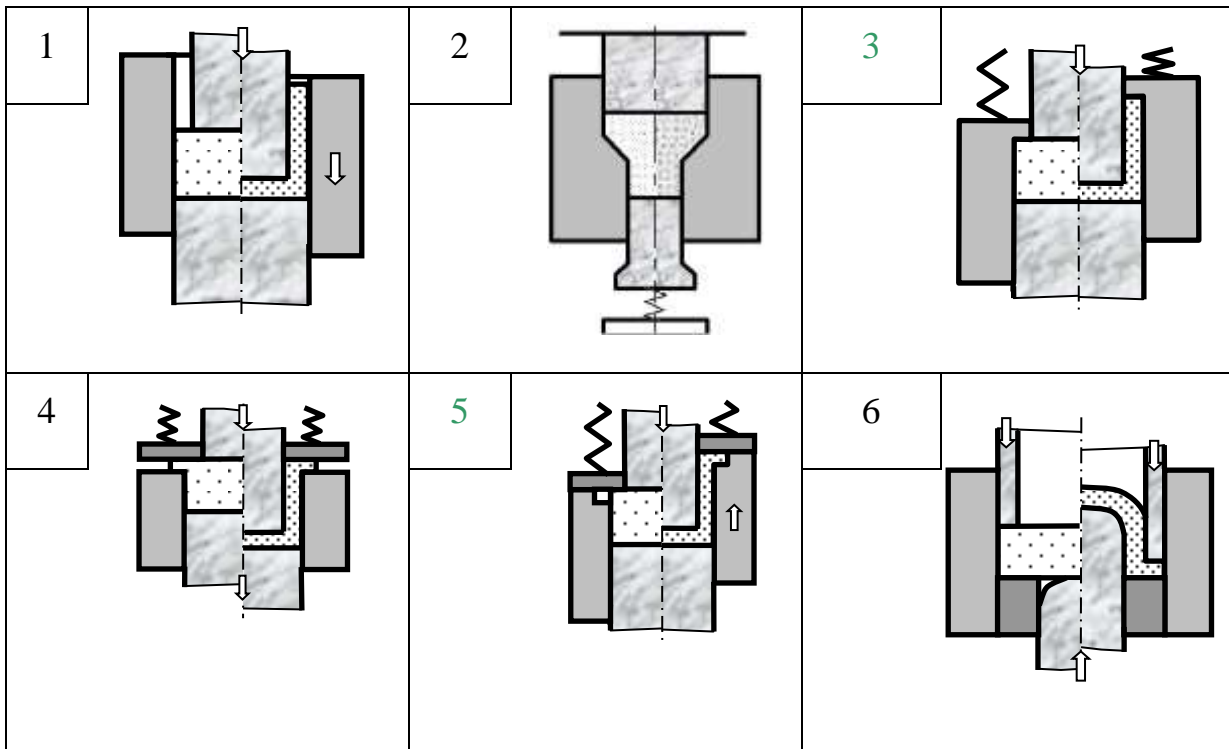


Рисунок 2.2 – Способи деформування порожнистих деталей із додатковим силовим впливом

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. 2.3).

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.

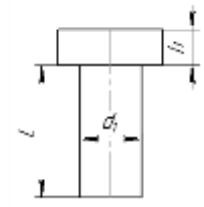
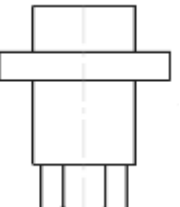
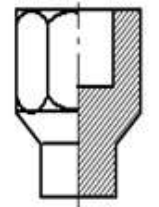
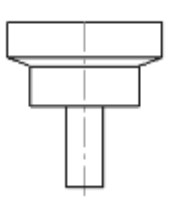
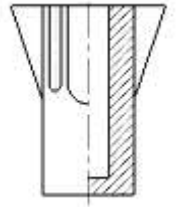
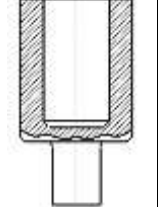
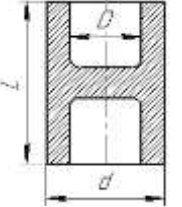
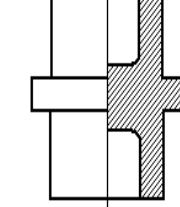
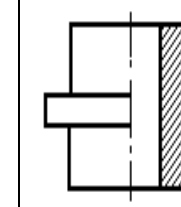
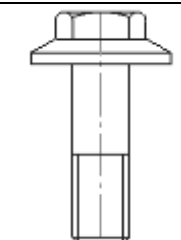
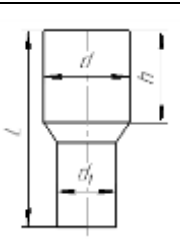
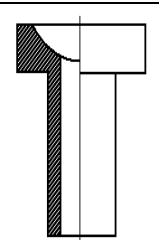
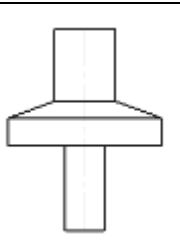
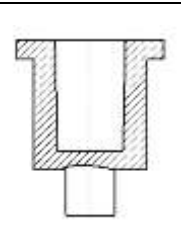
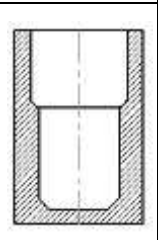
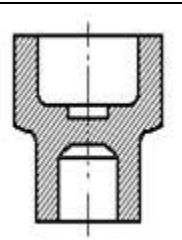
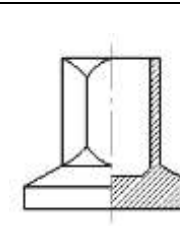
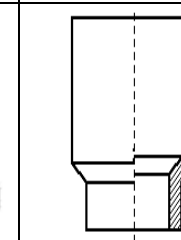
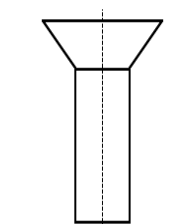
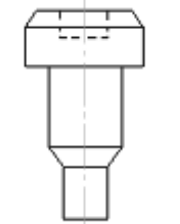
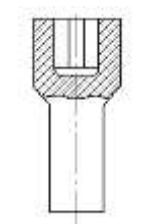
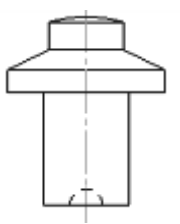
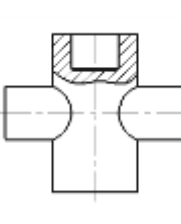
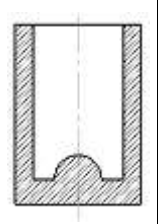
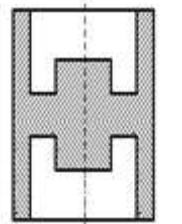
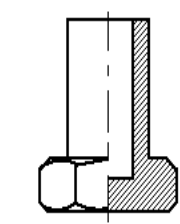
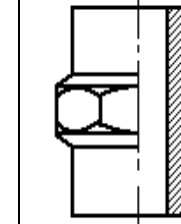
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
Б									
В									

Рисунок 2.3 – Типи деталей, які виготовляються способами ХОШ

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 [2, 6, 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.

Рекомендована література [2–7, 13– 22].

3 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРОЦЕСИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

3.1 Базові способи видавлювання

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. 3.1) здійснюють, як правило, на основі їх поділу на два класи [2, 4, 6, 9]:

- а) базові або прості основні способи [2, 4, 9];
- б) комбіновані способи, отримані шляхом з'єднання базових схем.

На рис. 3.1 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 зворотньому 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 осесиметричних деталей з фланцем або потовщеннями. Для бокового видавлювання (2.2) характерно течія металу в одну або декілька канальних 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, 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 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. 3.2) [2, 4, 6– 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 дещо видавленого стакану. Є також можливість формування суцільної деталі з фланцем при використанні порожнистого пуансону (ряд. Б, в).

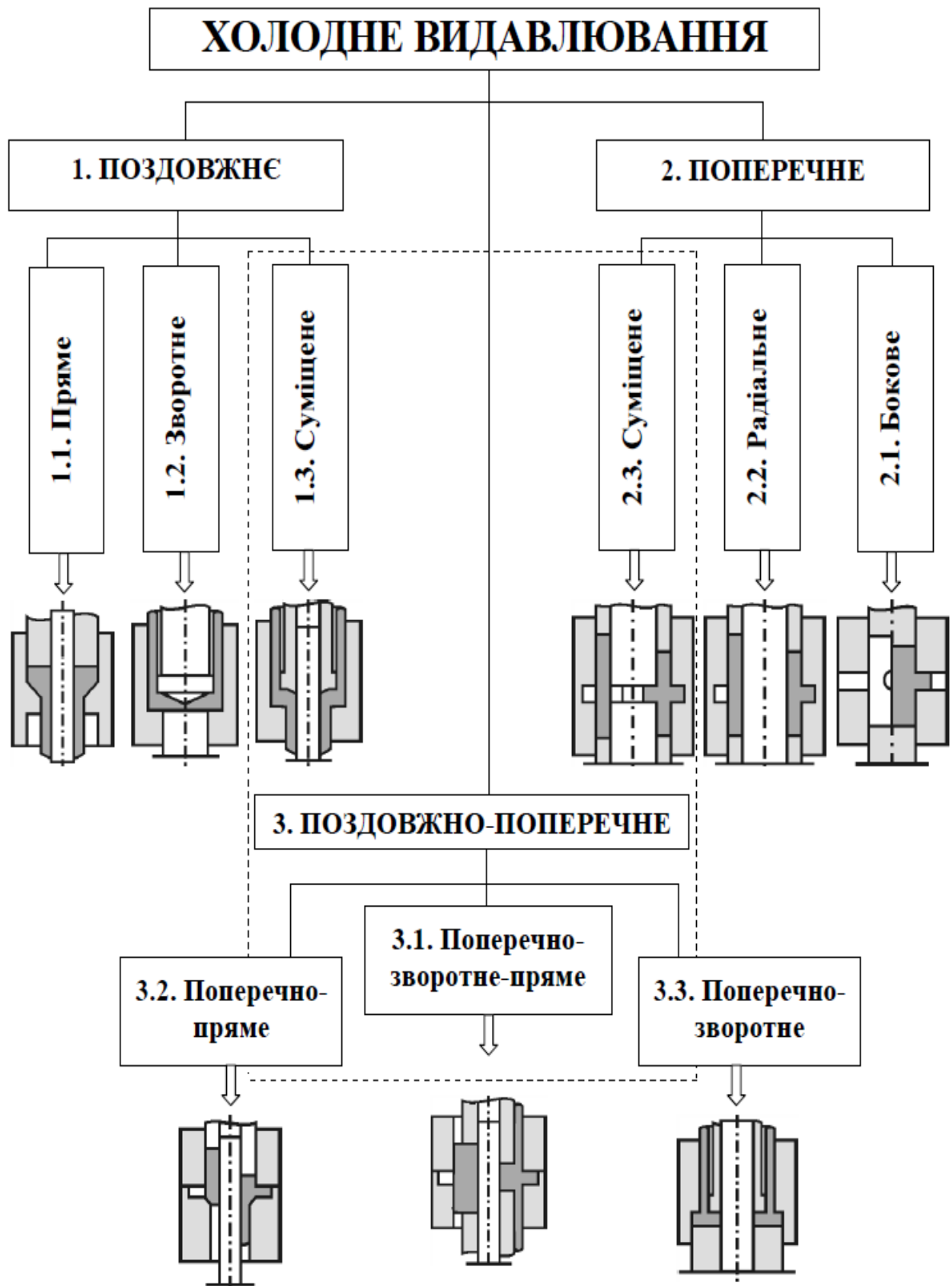


Рисунок 3.1 – Класифікація способів холодного видавлювання

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, 4, 6, 7].

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.

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, 10, 35].

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.

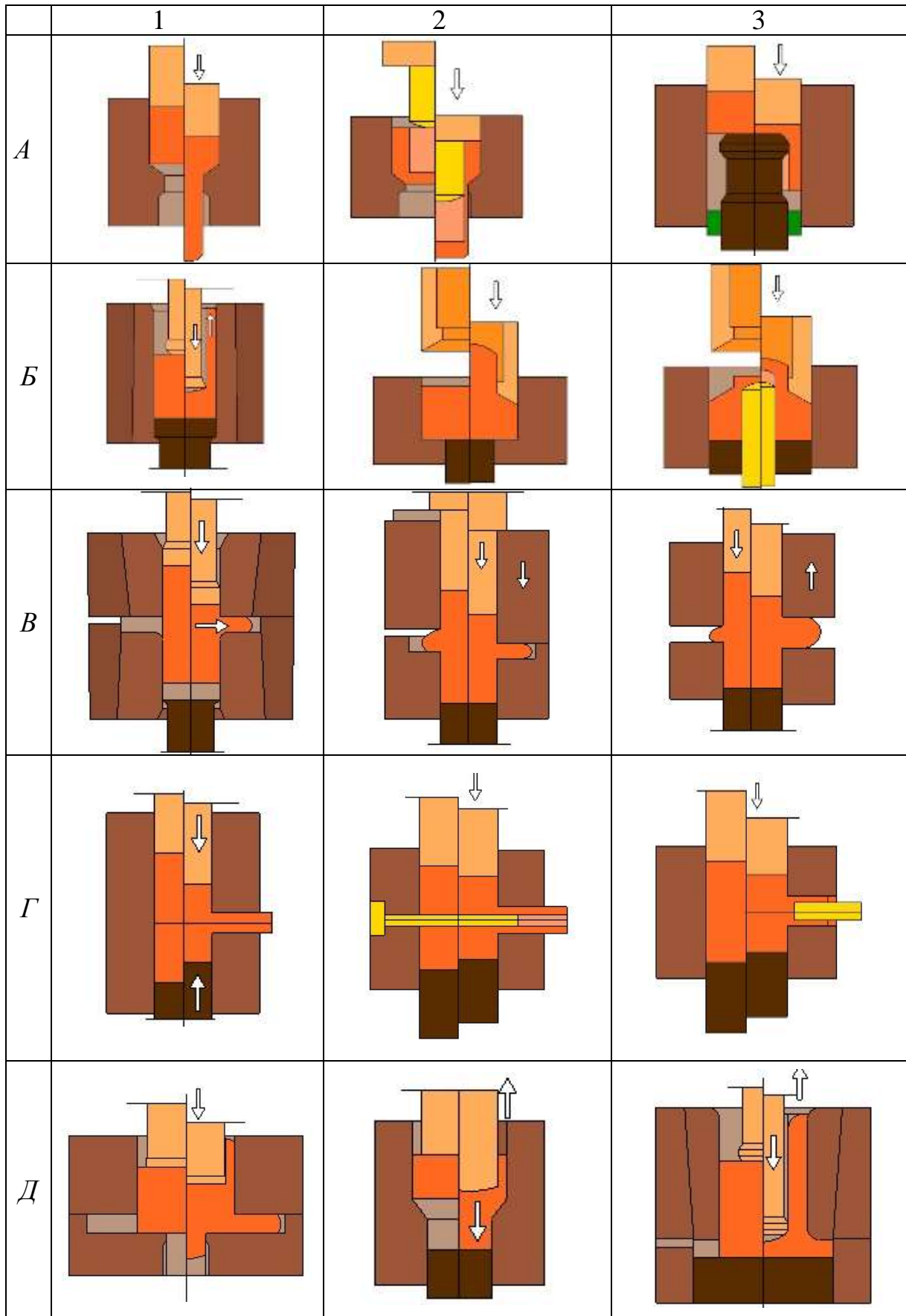


Рисунок 3.2 – Застосування способів холодного видавлювання для виготовлення деталей різного типу

Можна перерахувати декілька переваг з точки зору економії [2–7].

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.

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, із 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.

На рис. 3.3 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. Загальноновизнаним 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) доцільно для запобігання дефектам форми. Схеми 2 (А і В) спрямовані на отримання зовнішніх або внутрішніх буртів або потовщень.

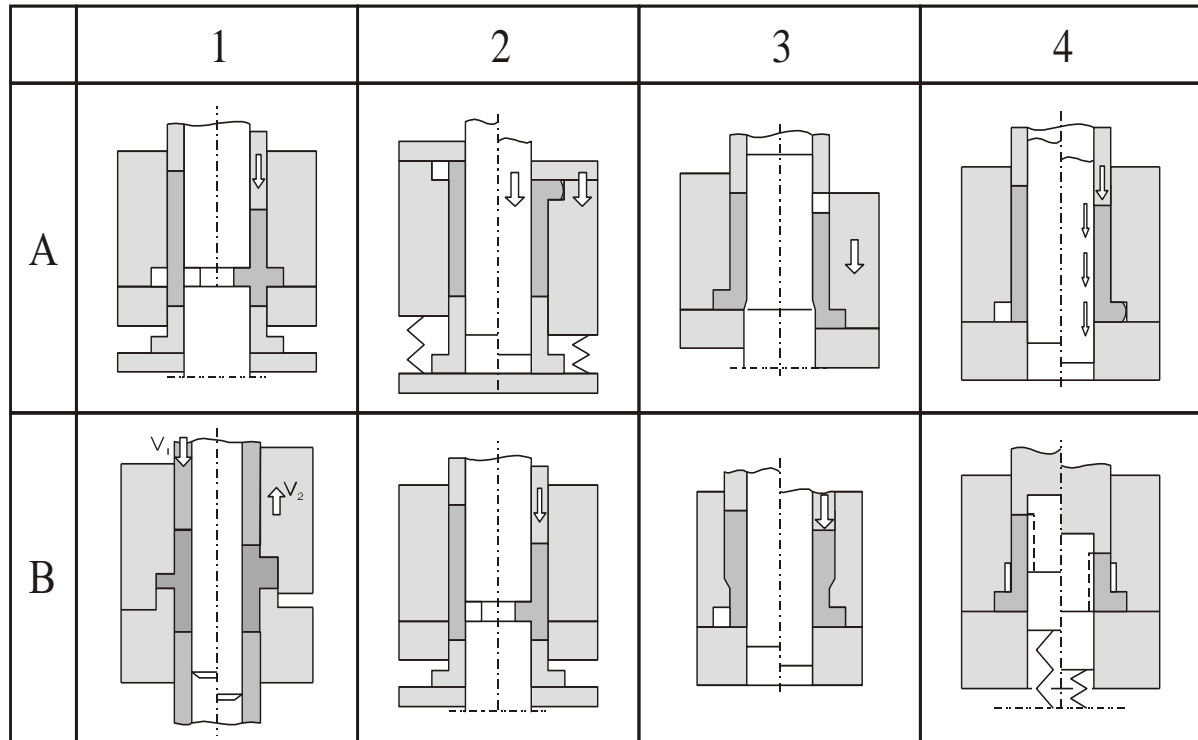


Рисунок 3.3 – Способи видавлювання деталей типу втулок із фланцем

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 протягуванням 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.

Перспективним маловідходним процесом є комбінований спосіб зворотного видавлювання-прошивки втулок кінчним пуансоном, названий

наскрізним прошиванням (рис. 3.4). Процес полягає в тому, що пуансон з конічним торцем прошиває з декількох заготовок верхню наскрізь, утворюючи втулку з наскрізним отвором [13]. Спосіб наскрізного прошивання, який передбачає фасонування вихідних заготовок з опукло-увігнутими кінчними торцями (рис. 3.4, а) сприяє зниженню утягнень на торцях і підвищенню якості втулок. Для цієї ж мети запропонований спосіб наскрізного прошивання з обтисненням в рухомій матриці (рис. 3.4, б). 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 [4].

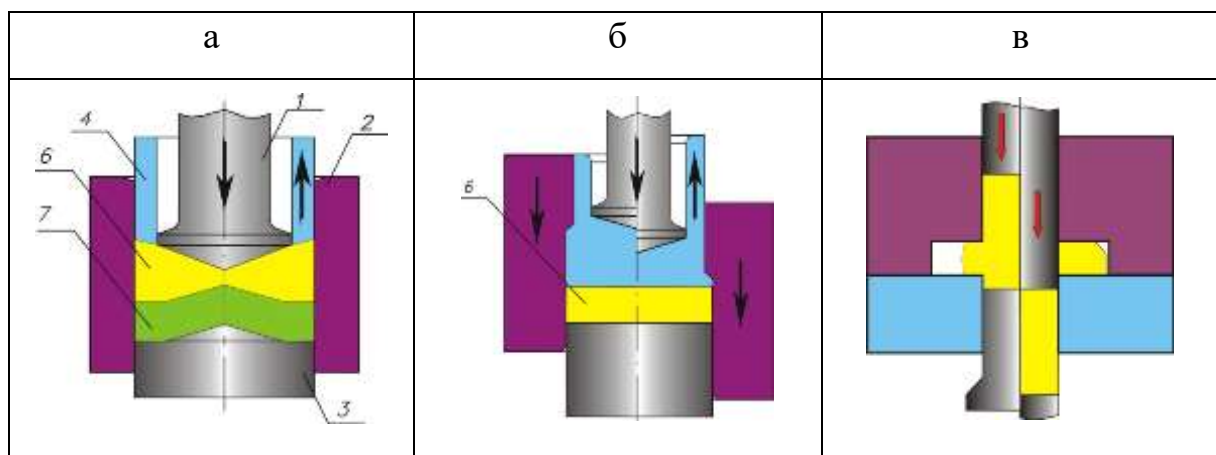


Рисунок 3.4 – Отримання деталей з наскрізним отвором із суцільної заготовки (комбінування видавлювання з наскрізним прошиванням)

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.

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

є високі питомі та повні сили деформування [2–7, 10]. Для усунення цих обмежень запропоновані способи деформування, в яких зниження навантажень на інструмент відбувається за рахунок створення різнойменної схеми напружено-деформованого стану [2, 13], зменшення площі контакту інструменту для деформування із заготовкою, роздачі, а також за допомогою додаткових комбінованих силових і кінематичних впливів на заготовку [4, 13, 15].

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. 3.5). 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 %.

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.) [9, 36].

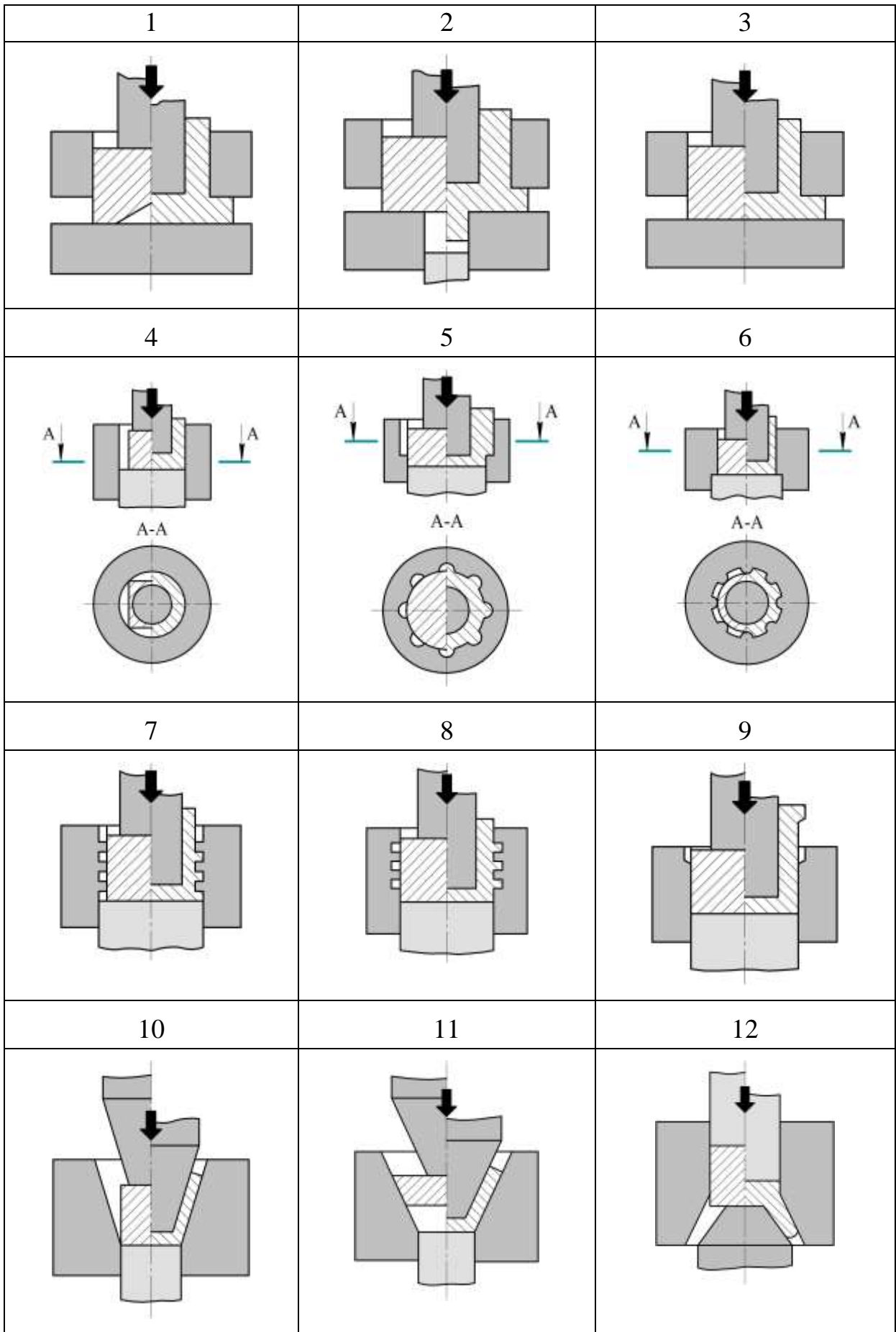


Рисунок 3.5 – Схеми видавлювання з роздачею

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 роздачою і прямому (в нижню частину порожнини матриці (схема 11)). 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.

3.2 Виготовлення порожнистих конічних виробів

Порожністі конічні деталі можна класифікувати за ознакою, що відрізняє їх за різними співвідношеннями кутів нахилу зовнішньої поверхні (матриці) та порожнини (пуансону).

Способи виготовлення порожнистих конічних деталей дуже різноманітні. У свою чергу, способи отримання деталей типу конічний стакан у технічній літературі зустрічаються рідко, оскільки процес їх отримання є маловивченим (рис. 3.6) [4, 37].

При аналізі технологічних варіантів встановлено, що застосування способу прямого видавлювання з роздачею з перебігом металу в рівноканальний зазор знижує сили деформування, але призводить і до зниження штампування матеріалу та якості одержуваної деталі (схема 1) [2].

Відомі рекомендації щодо використання вихідної профільованої стрижневої заготовки (схема 2). Порожніста циліндрична деталь типу стакану (схема 3) є заготовкою для застосування схем роздачі або штампування обкатуванням [8, 22].

Для тонкостінних деталей можливе застосування методів листового штампування. У більшості випадків спосіб характеризується великою кількістю технологічних переходів та обмеженнями, властивими цій технології [13].

Застосування нових технологічних рішень у вигляді гідромеханічної витяжки, пульсуючої витяжки, надпластичного штампування та поздовжнього обтиску дозволяє суттєво знизити кількість технологічних переходів [2, 4].

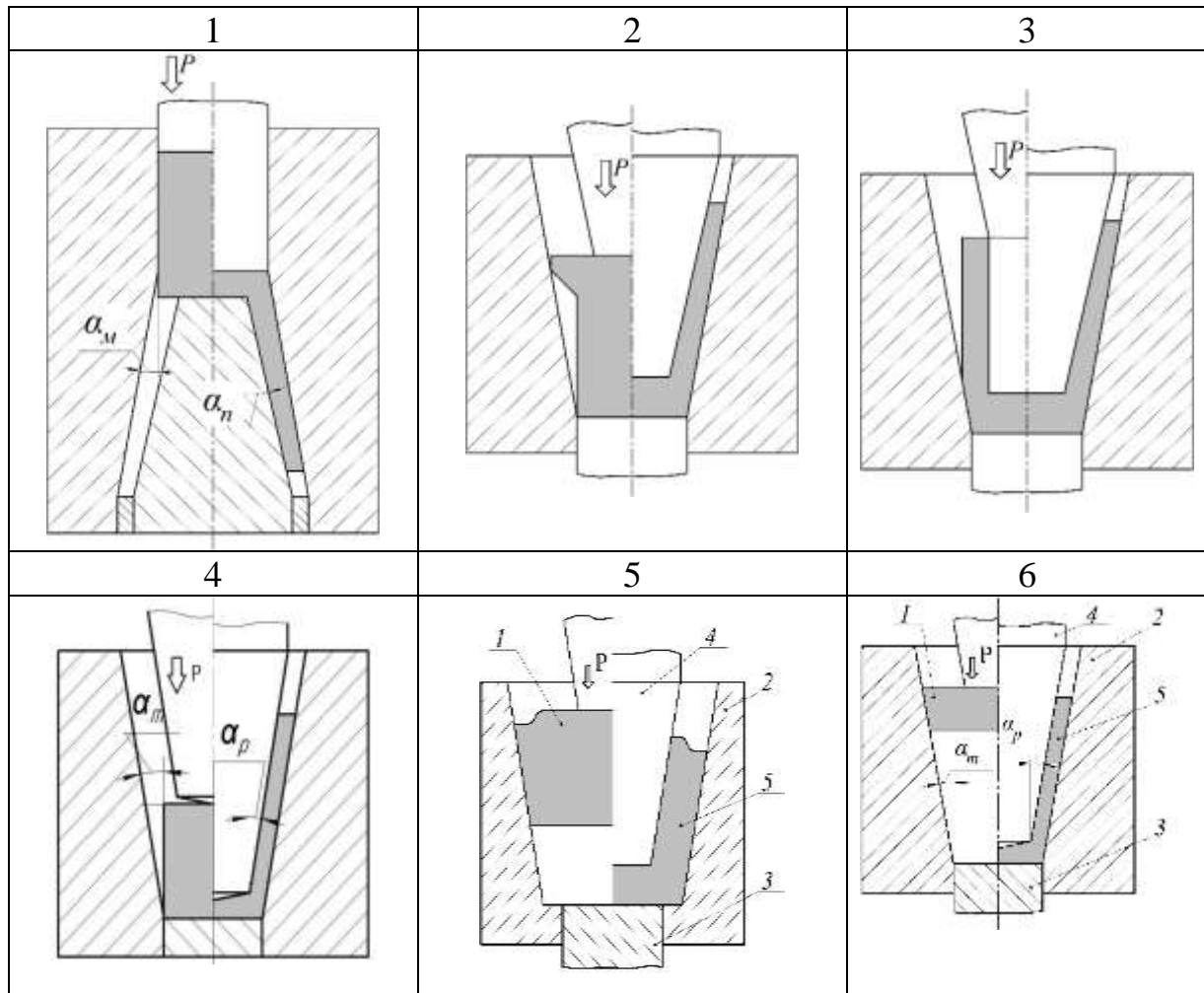


Рисунок 3.6 – Способи видавлювання порожнистих конічних деталей

Традиційним способом виготовлення порожнистих конічних деталей типу стакану є зворотне видавлювання (схема 4), при цьому вихідну заготовку циліндричної або конічної форми процесу отримують калібруванням [2].

Комбінування процесів видавлювання та листового штампування дозволяє не тільки розширити технологічні можливості процесів листового штампування, але скоротити кількість технологічних переходів (рис. 3.7) [2, 37].

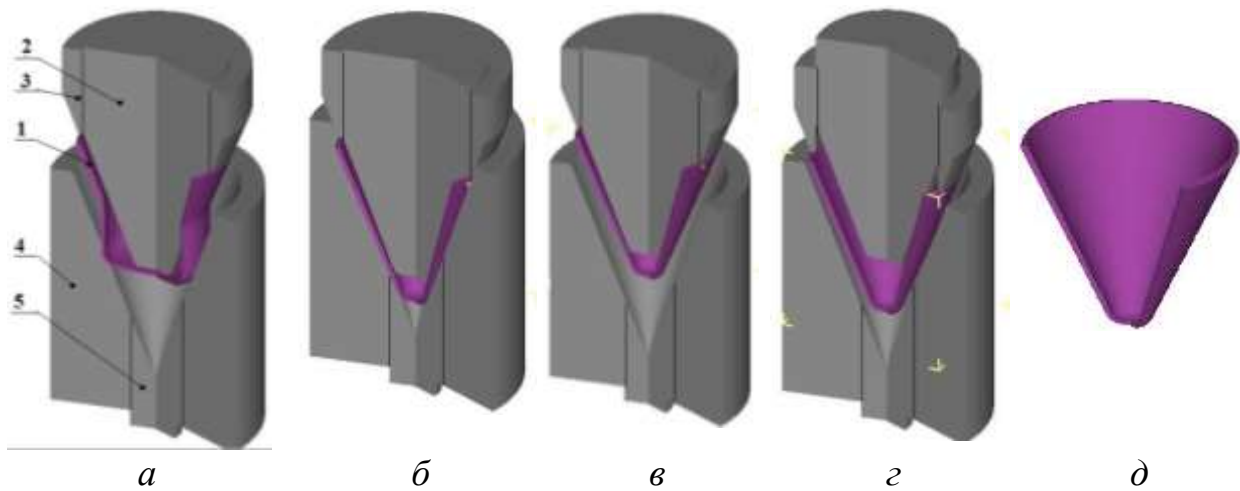


Рисунок 3.7 – Послідовність формоутворення конусного виробу обтиском у конусній матриці: а – вихідне положення при обтиску; б – положення наприкінці обтиску; в – положення після зворотного переміщення матриці із штовхачем; г – положення після знімання виробу із пуансона; д – загальний вигляд виробу

У роботі [13] розглянуто процес, що характеризується двосторонньою течією металу за рахунок використання активних сил тертя та видавлювання зсувом, проте вимог до форми та методів отримання вихідної заготовки не встановлено. Також запропоновано для зниження питомих зусиль видавлювання порожнистих конусів та підвищення стійкості штампу підібрати оптимальну форму заготовки з метою розміщення її у верхній порожнині штампу, що забезпечить двосторонню течію металу, а також застосовувати інструмент із високою чистотою поверхні та якісне змащення.

У роботах [37, 38] досліджено спосіб зворотно-прямого видавлювання із застосуванням спеціально фасонної заготовки (схема 5). Схеми 4 і 5 мають перевагу перед іншими за рахунок самовстановлювальної заготовки, яка має кут нахилу зовнішньої поверхні рівний куту нахилу внутрішньої поверхні матриці.

Таким чином, для отримання порожнистих конічних деталей типу стакану найбільш ефективними методами можуть бути комбіновані процеси

прямо-зворотного видавлювання, які дозволяють знизити навантаження на інструмент, металомісткість штампового оснащення за рахунок використання одного комплекту матриць для двох процесів, отримання заготовки шляхом осадки на конус і зворотно-прямого видавлювання. Треба констатувати, що це актуальна задача для подальшого дослідження.

3.3 Способи комбінованого 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 [2, 4, 10, 13, 36–41]. Для суміщених способів характерні кілька ступенів свободи (можливих напрямків) течії металу. Комбіноване поздовжнє (зворотно-пряме) видавлювання отримало розвиток завдяки дослідженням і розробкам В.О. Євстратова, В.Л. Калюжного та інших вчених [2, 4, 8]. Інтерес представляють розробки, присвячені методам керування пластичною течією за рахунок сил контактної тертя [4, 42] і додаткових силових впливів [2, 4, 13, 26].

Способи комбінованого видавлювання, що поєднують поздовжні схеми (пряме, зворотне видавлювання), представлені на рис. 3.8. Комбіноване зворотно-пряме видавлювання стаканів з зовнішніми осьовими суцільним (схема 1) або порожнистим (схема 2) [2] 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.

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

На відміну від комбінованого видавлювання зсувом, у схемі 5 активним деформувальним інструментом є верхній кільцевий пуансон, внутрішній діаметр якого більше діаметра нижнього пуансона. За схемою 6 спочатку здійснюється комбіноване видавлювання, при цьому реалізується технологічний прийом виключення різностінності за рахунок самоцентрування пуансона відносно матриці за способом. 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 [2]).

Способи комбінованого видавлювання, що поєднують схеми традиційних схем поздовжнього (зворотного і прямого) і поперечного видавлювання можна віднести до перспективних способів, оскільки вони дозволяють отримати за одну операцію деталі найбільш складних форм [2, 4]. Комбіноване поздовжньо-поперечне видавлювання з суцільної заготовки характеризується різноманітністю варіантів реалізації [4, 36].

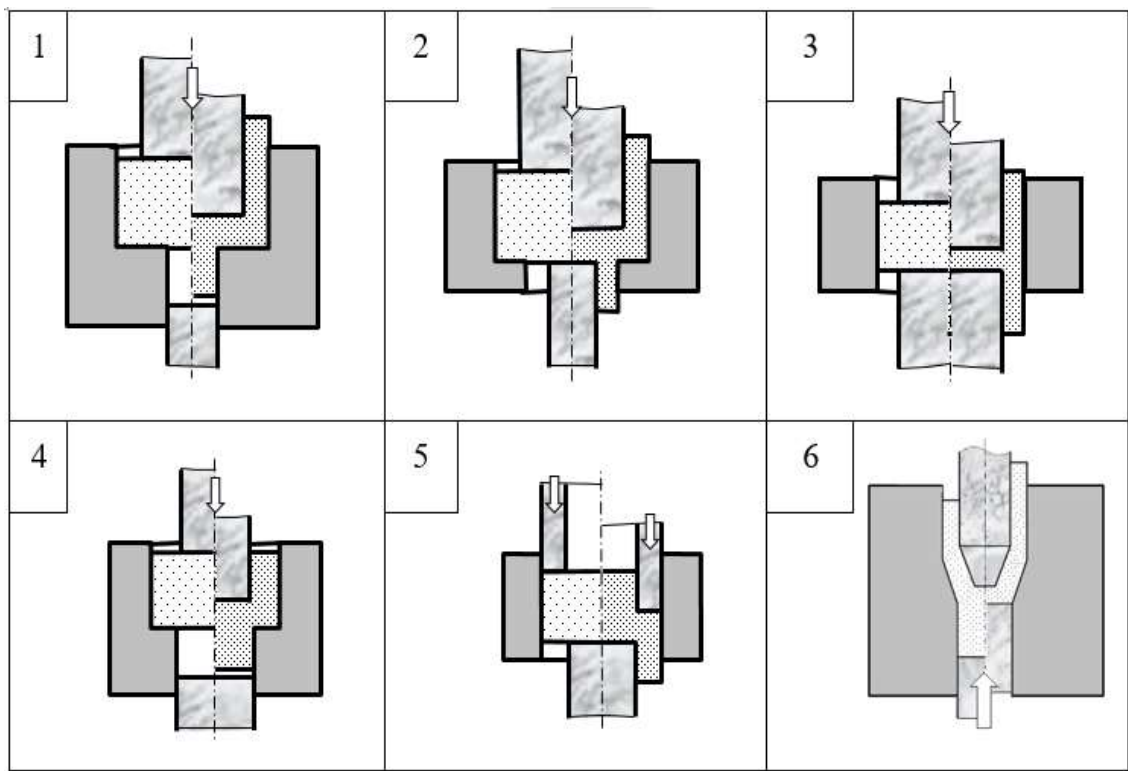


Рисунок 3.8 – Схеми комбінованого поздовжнього видавлювання

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. 3.9) 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).

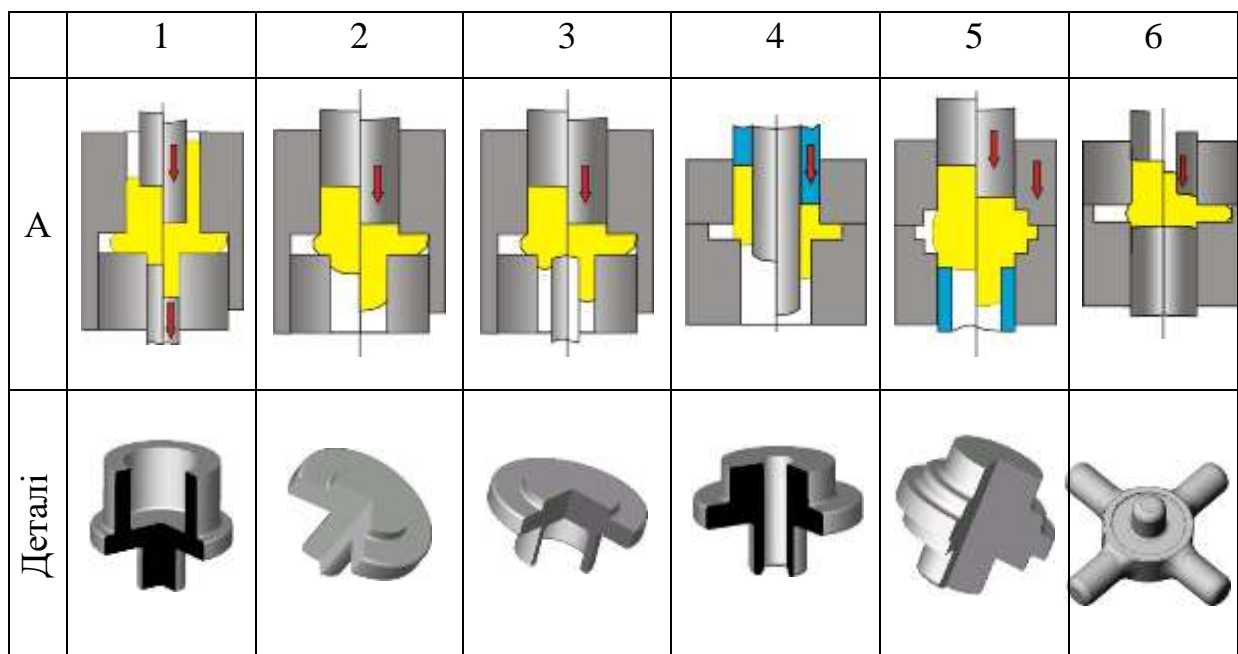


Рисунок 3.9 – Схеми суміщеного комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання

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.

Способи, які представлені на рис. 3.10, 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 [36–40]. 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.

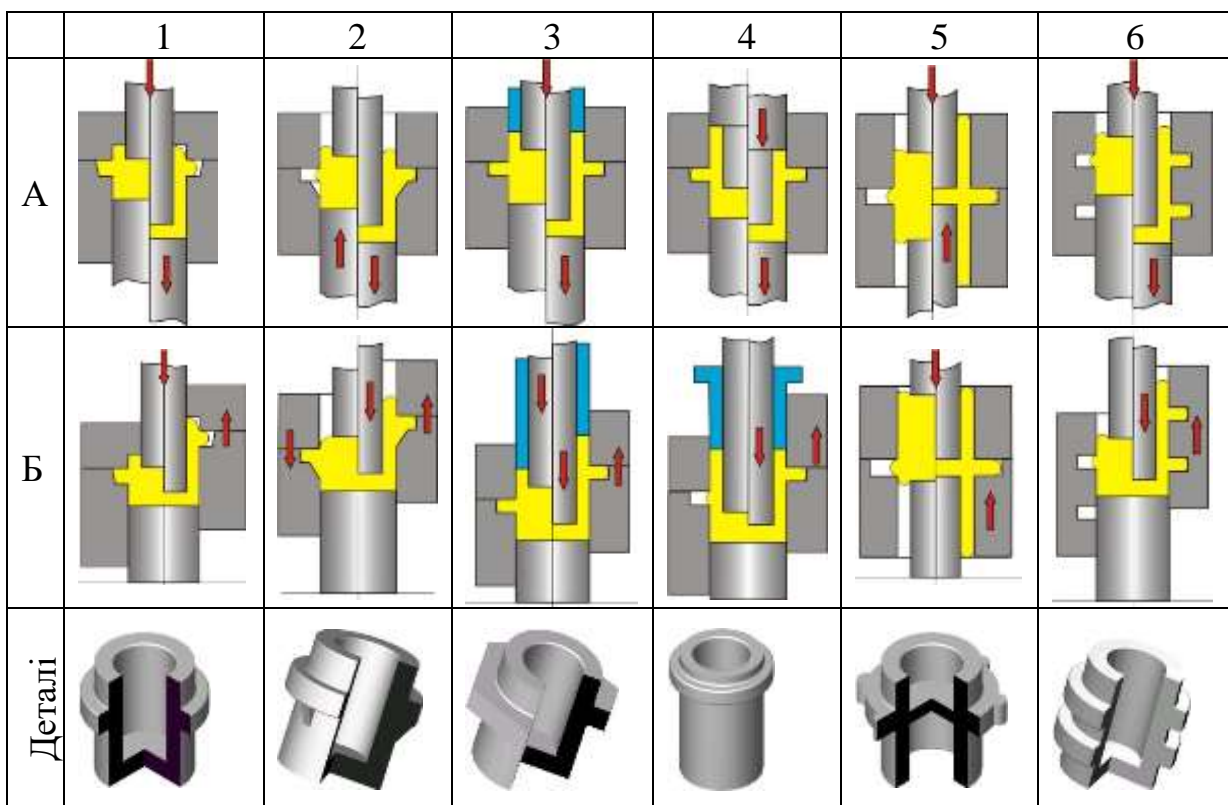


Рисунок 3.10 – Способи поетапного комбінованого видавлювання

Класифікацію способів послідовного радіально-поздовжнього видавлювання, призначених для отримання порожнистих деталей, представлено на рис. 3.11. Можна виділити два основні різновиди цих методів: схеми

видавлювання з роздачею металу (рис. 3.11, ряд А) [4, 8, 37] і схеми видавлювання з обтисненням металу при його радіальній течії (рис. 3.11, ряд В) [4, 15]. Особливість способів послідовного комбінованого видавлювання полягає в тому, що в процесі деформації напрямок течії металу змінюється з радіального (течія з роздачею) на прямий. Автори робіт [2, 4] за результатами експериментальних досліджень стверджують, що в разі прямого видавлювання з роздачею, сила деформування знижується в порівнянні з поздовжнім видавлюванням на 16–40% (схема 1). Схеми 2–4 (див. рис. 3.11) розташовані в порядку спадання ступеня свободи течії металу.

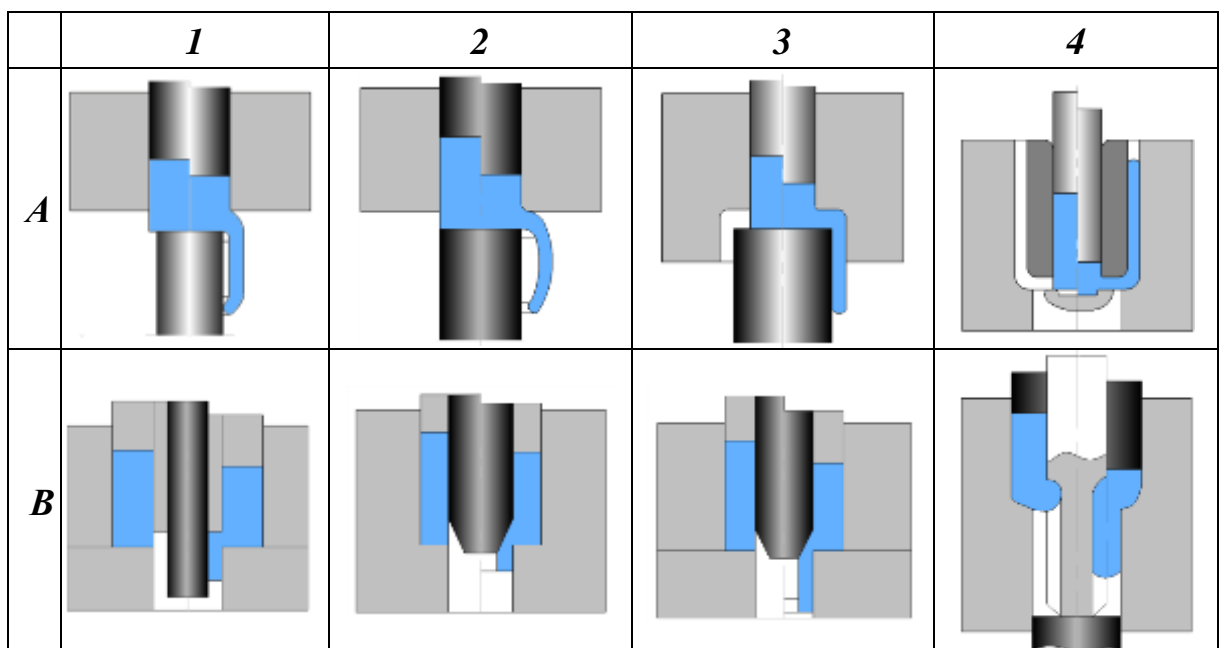


Рисунок 3.11 – Способи послідовного комбінованого радіально-прямого видавлювання

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.

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.

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 [4, 8]. 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 конічної оправки, здатного до зворотно-поступального переміщення, що необхідне для отримання деталей із змінною товщиною стінки [15]. 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 [15] 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 [2, 11].

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. 4.3) [4, 8]. В процесі деформації течія металу в радіальному центробіжному напрямку в зоні розвороту змінюється на прямий.

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. 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. 3.11) 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 [15].

3.4 Перспективні способи видавлювання

Для визначення перспективних напрямків досліджень необхідно співставлення та узагальнення схем деформування. Для генерування технологічних схем деформування бажано проведення більш детального аналізу ознак, що стосуються кінематичних і силових впливів на заготовку, що деформується. Дослідження внутрішньої структури процесу формозміни, співвідношення впливів і рухів інструменту та напрямків витікання металу може призвести до виявлення ряду можливих рішень з кращими технічними ефектами. Для пошуку нових рішень в області способів деформування є доцільним складання таблиць взаємодій за ознаками, що характеризують технічні розробки як об'єкт винаходу [9].

Способи видавлювання порожнистих деталей типу гільз

Порожністі деталі типу стакану з вихідних заготовок у вигляді суцільних і порожнистих напівфабрикатів можна виготовляти, наприклад, за схемами простого поздовжнього видавлювання. Однак при цьому керування течією металу викликає значні труднощі. Для таких процесів може бути цікавим керування течією (регулювання подачі) способом видавлювання з роздачею або з додатковим осередком деформації (ОД) [4, 21].

Способи комбінованого видавлювання є більш привабливими з точки зору керування режимом деформування і течії металу. Класифікацію способів послідовного комбінованого видавлювання можна виконати на основі аналізу кінематичних структур, виходячи з розширеної узагальненої схеми видавлювання [4, 9]. Якщо видозмінювати периферійні осередки деформації розвороту, то можна генерувати основні способи поздовжньо-поперечного видавлювання суцільних заготовок, основна частина з яких наведена в табл. 3.1. Послідовне радіально-пряме видавлювання є досить ефективним для формоутворення подовжених трубчастих деталей зі змінною товщиною стінки і великим перепадом східчастих частин.

Класифікація способів видавлювання порожнистих деталей виконана з виділенням 6-ти груп технологічних схем деформування (див. табл. 3.1).

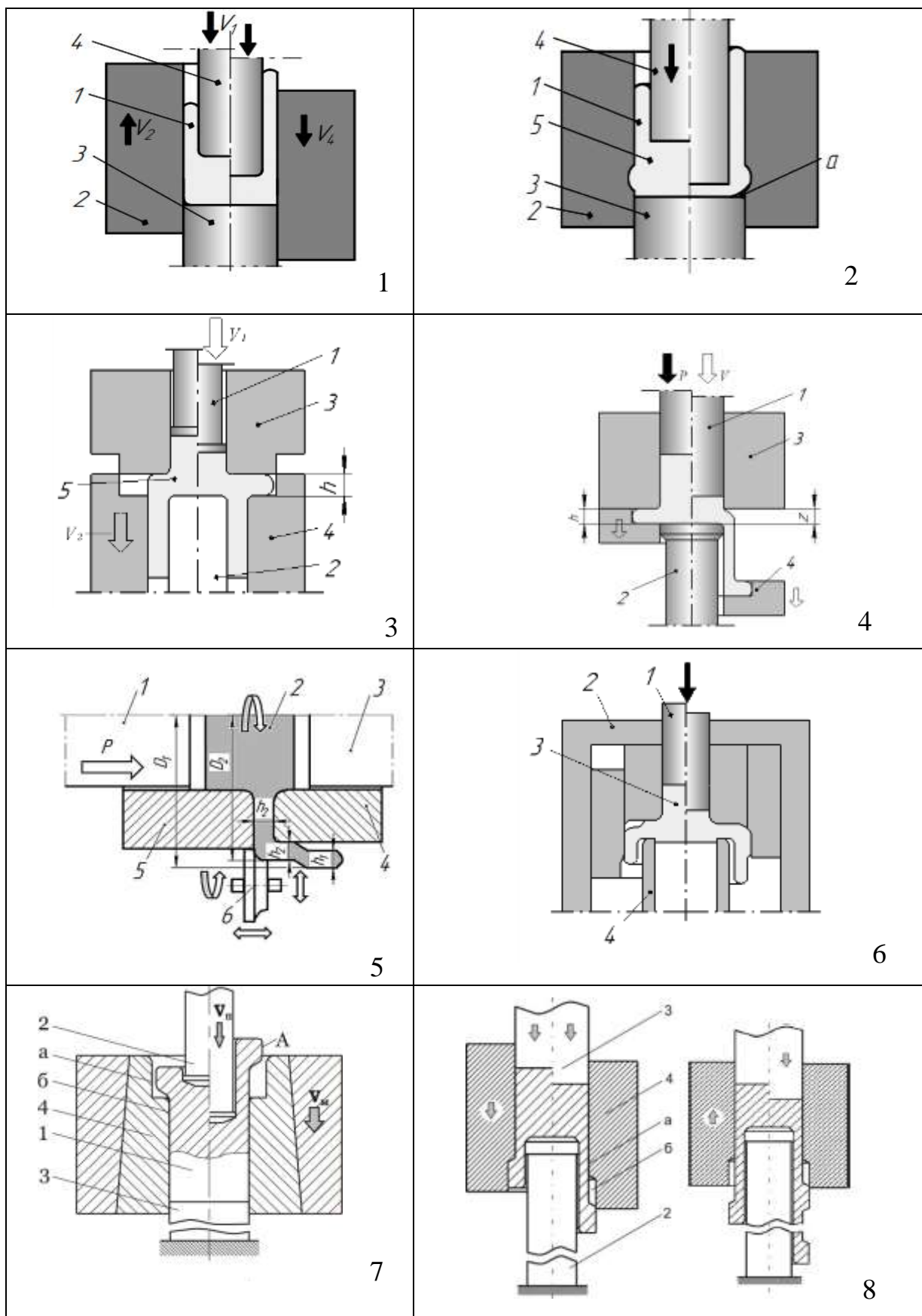
Частина цих схем була розглянута при огляді літератури (див. рис. 3.9–3.11). Ці способи створюють можливість виготовлення деталей більш складних просторових форм та з меншими питомими і повними навантаженнями на інструмент.

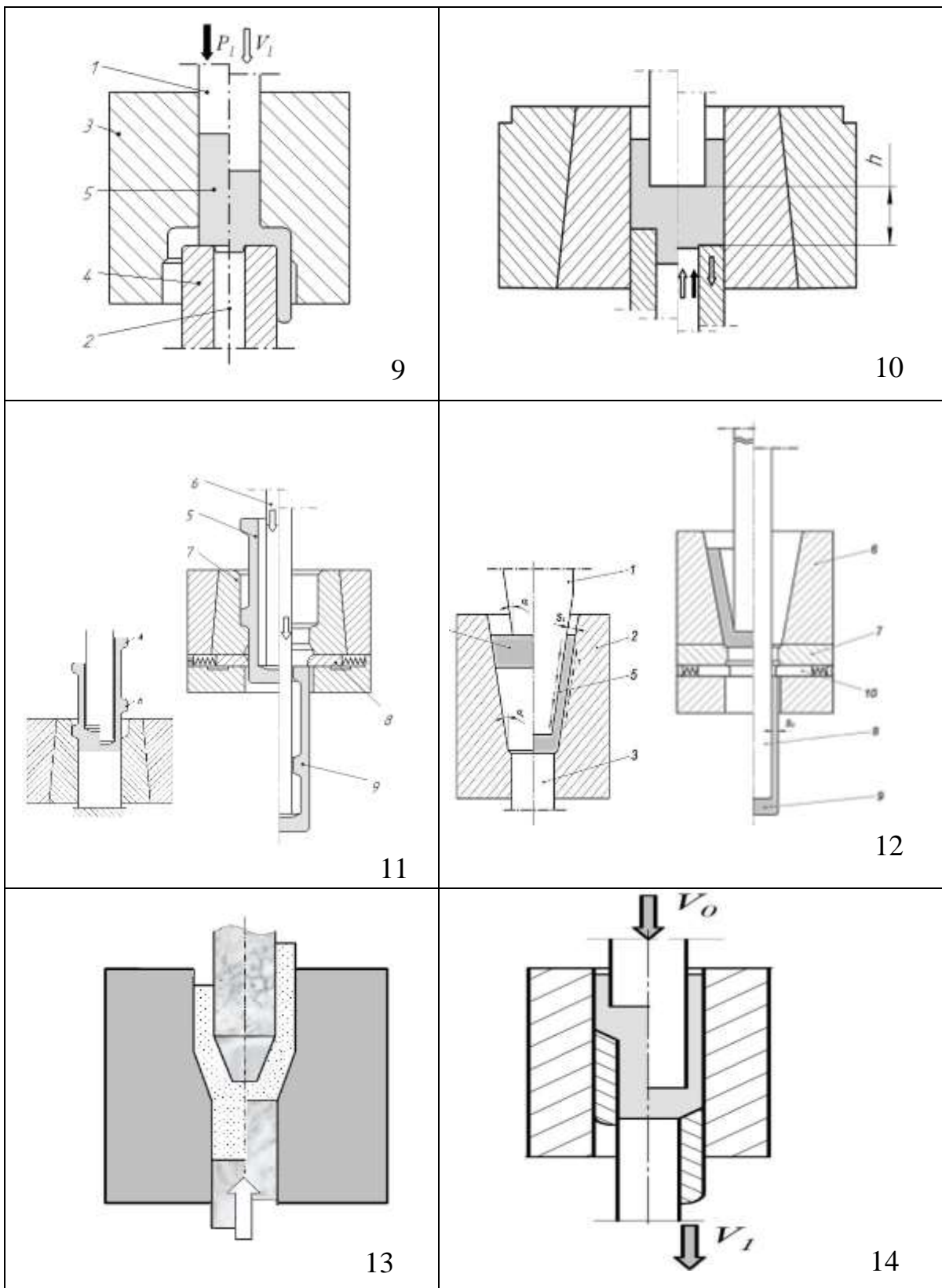
Способи усунення дефектів типу утяжин при видавлюванні засновані на керуванні кінематикою течії металу і силами контактного тертя. Підвищення технологічних можливостей і якості виробів за рахунок виключення дефектів типу утяжин і поперечних тріщин досягають шляхом прикладення до бічної поверхні заготовки 1 (табл. 3.1, схема 1), розміщеної в матриці 2, за допомогою пуансона 4 і контрпуансона 3 сил тертя, які реверсивно спрямовані уздовж осі симетрії стакану. Неодноспрямований змінний вплив на бічну поверхню силами тертя може сприяти переорієнтації, вирівнюванню, заліковуванню і повному усуненню поперечних тріщин [13, 43].

Завдання зменшення або усунення зовнішнього утягнення на дні стакану можна вирішити за рахунок того, що на бічній поверхні в зоні дна (див. табл. 3.1, схема 2) або на дні стакану формують зовнішній кільцевий виступ (бурт) шляхом заповнення поглиблення, передбаченого в матриці [44] або на торці контрпуансона [465], а також на бічній поверхні інструменту [46]. Такий бурт на бічній поверхні надає гальмівний вплив на зовнішні шари стінки стакану, що видавлюється, запобігаючи тим самим відходу дна стакану від торця контрпуансона 3 і створенню утяжини «а».

Способи видавлювання складнопрофільованих порожнистих деталей також засновані на регулюванні кінематики процесу деформування. У початковій стадії процесу деформований метал тече у радіальному напрямку, а після досягнення периферійної (кутової) зони розвороту й зіткнення зі стінкою напівматриці 4 змінює напрямок течії на прямий (на 90°) і тече паралельно осі симетрії, утворюючи прямим видавлюванням стінку деталі (табл. 3.1, схема 3).

Таблиця 3.1 – Способи видавлювання порожнистих деталей





У результаті цього в основній стадії процесу видавлювання метал має можливість для течії з роздачею (тобто з переміщенням металу в радіальному від центру напрямку) і в прямому напрямку, що потребує значно менших зусиль деформування. В заключній стадії процесу для формування фланця на бічної (зовнішньої) поверхні деталі й одержання фасонного зовнішнього профілю деталі виконують додаткове радіальне переміщення (видавлювання) металу в зоні розвороту напрямку течії металу (з радіального на прямий), тобто в придонній частині напівфабрикату (табл. 2.1, схема 3) [47]. Для цього змінюють положення напівматриці 4 її переміщенням вниз з швидкістю V_2 і створюють додаткову прийомну кругову порожнину в матриці. Переміщення металу в радіальному напрямку потребує менших витрат енергії, тому це дає можливість формувати фланець в придонній частині деталі за рахунок переважаючого радіального видавлювання, тобто без обмеження течії металу в прямому напрямку.

Існує спосіб виготовлення порожнистих деталей шляхом прямого видавлювання з роздачею, при цьому на зовнішньої поверхні деталі у кромки порожнині формують фланець за рахунок виконання у початкової стадії процесу радіального видавлювання при одночасному обмеженню течії металу у прямому напрямку (схема 4) [48]. У початковій стадії процесу напівматриці 3 і 4 встановлені таким чином, що зазор, утворений цими формоутворюючими інструментами, дорівнює h , а деформований метал тече тільки у радіальному напрямку. Після досягнення металом периферійної зони прийомної порожнини й зіткнення зі стінкою напівматриці 4 фланець остаточно формується і напівматриця 4 приводиться в руханий стан. Вона переміщується вниз для того, щоб не перешкоджати в подальшому течії металу. Після цього починається друга основна стадія – стадія прямого видавлювання з роздачею, на якому метал змінює напрямок течії на пряме, тече паралельно осі симетрії, утворюючи стінку і циліндричну порожнисту ділянку деталі.

Третій ряд схем послідовного радіально-прямого видавлювання відрізняється тим, що в процесі деформування регулюють величини

технологічних зазорів між формоутворюючими інструментами і тим самим забезпечують виготовлення деталей складної конфігурації, зі змінною товщиною стінки і профільованими боковими поверхнями. Процес видавлювання виконується на ротаційному устаткуванні з обертанням заготовки і інструментів. За способом локального деформування (схема 5) радіус зони розвороту течії з радіального на пряме витікання металу є змінним і регульованим в залежності від необхідних діаметральних розмірів сходинок порожнистої деталі. Спосіб виконується шляхом радіально-прямого видавлювання, при цьому під час видавлювання заготовка обертається [49], а діаметр зовнішньої поверхні деталі змінюють за рахунок радіального переміщення по меншій мірі одного ролика, встановленого в зоні розвороту течії металу з радіального напрямку на прямий. Зміщення зони повороту приводить до зміни не тільки зовнішнього діаметра виробу, але й, за необхідності, внутрішнього діаметра, що дозволяє одержувати складні вироби з змінним одночасно зовнішнім і внутрішнім профілем при постійній і змінній товщині стінки деталі (схема 6) [50].

Переваги способів видавлювання складнопрофільованих деталей саме в поширенні технологічних можливостей процесів видавлювання. Отриманню складнопрофільованих деталей зі складним зовнішнім або внутрішнім профілем зі змінною товщиною стінки в штампі з рухомим інструментом служать і поетапні способи видавлювання порожнистих деталей. Для отримання порожнистих деталей з профільованої зовнішньою поверхнею запропоновано спосіб деформування в рухомих матрицях (див. табл. 3.1, схема 7) [51]. При видавлюванні за даним способом в момент зіткнення торців пуансона і заготовки 1 починається її деформування прошивкою з переважно вільною течією металу в порожнину розширеної ділянки і формується верхнє кільцеве потовщення на бічній поверхні виробу. Потім здійснюють наступну стадію деформування – закриту прошивку зворотною течією (видавлюванням) металу, і відбувається формоутворення порожнистої частини виробу (між потовщеннями). Реалізація цього способу поетапного видавлювання стаканів зі змінною товщиною стінки здійснюється в штампі за рахунок

того, що пристрій додатково оснащений проміжною плитою, на якій встановлюється формоутворююча матриця, і приводом для узгодженого переміщення матриці на етапах видавлювання (схема 8) [52].

Способи виготовлення порожнистих деталей типу глибоких гільз (стаканів) відрізняються комбінуванням знакозмінних схем деформування і схем деформування з підвищеним ступенем свободі течії металу.

За способом виготовлення порожнистих деталей типу гільз шляхом поперечно-прямого видавлювання (див. табл. 3.1, схема 9) під час видавлювання деталі в її донній частині прямим видавлюванням формується технологічний відросток, який видаляється в заключній стадії процесу зворотним переміщенням металу в осередок деформування і тіло деталі [53]. Застосування даного способу дозволяє одержувати порожнисті деталі типу глибоких гільз без появи відхилень форми у вигляді утяжин в донній частині порожнини деталі, що значно розширює технологічні можливості процесу і якість деталей, що виробляються.

За способом видавлювання порожнистих деталей (схема 10) задача підвищення якості 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 частині стакану, а на другому етапі відбувається витіснення металу з технологічного відростку назад у донну частину стакану [54]. Знакозмінна деформація, якій піддається метал в донній частині напівфабрикату – стакану за рахунок спочатку прямого, а потім зворотного видавлювання металу в донну частину, забезпечує добру проробку металу цієї донної зони.

Новий спосіб виготовлення порожнистих деталей з глухим отвором і з фасонною внутрішньою поверхнею (схема 11) [55] включає поздовжнє (зворотне або пряме) і радіальне видавлювання, які поперемінно виконуються із цільної заготовки в матриці, здатної до поздовжнього переміщення, при цьому спочатку виконуються поздовжнє і радіальне видавлювання

напівфабрикату із ступінчастою зовнішньою поверхнею, а потім отриманий напівфабрикат встановлюється в наступний штамп із обтискною матрицею і виконується протяжка по зовнішній поверхні півфабрикату. Після виготовлення напівфабрикату 5 він закладається до наступного штампку з пуансоном 6 та обтискною матрицею 7 і робиться протяжка (обтиснення і калібрування) по зовнішній поверхні напівфабрикату. При цьому метал з бортів А і Б передається (зміщується до осі симетрії) з формуванням бортів на внутрішній поверхні стакану. Виготовлення порожнистих деталей таким способом дозволяє отримати деталі з внутрішньою ступінчастою поверхнею, що значно розширює можливості процесів ОМТ і номенклатуру деталей, що штампуються.

Суть іншого способу виготовлення порожнистих деталей типу гільз (див. табл. 3.1, схема 12) [56] полягає в деформуванні заготовки шляхом двох перехідного комбінованого видавлювання і протягування, при цьому в першому переході процесу півфабрикат виробу виготовляють у вигляді конічного стакану і його формують способом комбінованого зворотно-прямого видавлювання, а потім з нього обтисненням і протягуванням формують циліндричну гільзу. Застосування даного способу дозволяє одержувати порожнисті деталі з якісною проробкою металу в зоні стінки гільзи і якісною зовнішньою поверхнею, що значно розширює технологічні можливості процесу. Забезпечення комбінованого характеру течії металу в зоні стінки півфабрикату призводить до появи активних сил тертя і зсувної компоненти деформації, що дозволяє одержувати глибокі вироби з добре і рівномірно проробленою структурою металу порожнистої деталі [37].

В табл. 3.1 наведено також способи, які представлені у літературі, а саме схема комбінованого видавлювання (схема 13)[57] і схема 14 [13]. На користь даних способів служать їх оригінальність і переваги в зниженні силових параметрів і відхилень від неспівосності порожнини деталей типу гільз.

Способи видавлювання складнопрофільованих деталей

Нові способи поперечного і комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання з активним регулюванням кінематики процесу дозволяють значно підвищити складність форми деталей, що штампуються [4, 23, 51, 58]. Ряд способів описані вище при кваліфікуванні технологічних способів видавлювання порожнистих деталей (див. схеми 5–8 і схему 11 у табл. 3.1). Наприклад, у розвиток процесу радіально-прямого видавлювання з роздачею створений новий спосіб комбінованого видавлювання, відмінною особливістю якого є те, що за цим способом радіус зони розвороту течії з радіальної на пряму є змінним і регульованим в залежності від необхідних діаметральних розмірів сходинок порожнистої деталі (див. табл. 3.1, схема б) [50]. 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. 3.12) [59].

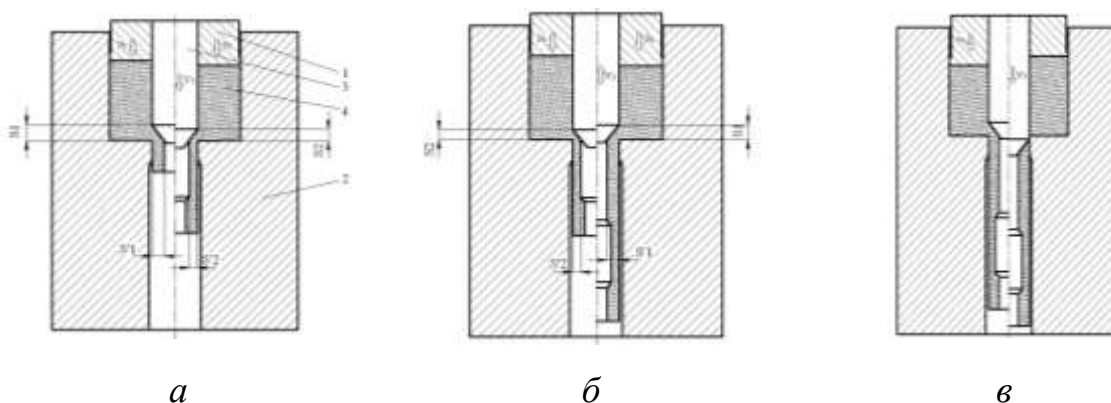


Рисунок 3.12 – Спосіб комбінованого видавлювання на конічній оправці:
радіально-пряме видавлювання (а, б), відрізання готової деталі
від багатощучної заготовки (в)

Цей 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 отримувати також деталі типу втулок зі змінною товщиною стінки, що значно розширює технологічні можливості процесу і номенклатуру штампованих деталей (рис. 3.13, а).

Завдання підвищення якості і розширення номенклатури деталей, які отримують 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'ємною уздовж осі симетрії напівфабрикату матрицю і виконується протяжка циліндричною оправкою на внутрішній поверхні напівфабрикату (рис. 3.13, б) [15].

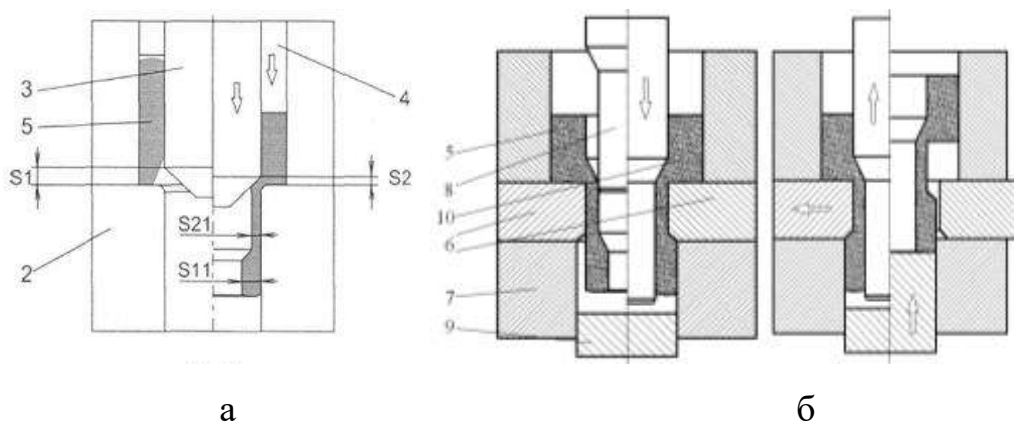


Рисунок 3.13 – Способи радіально-прямого видавлювання порожнистих деталей з перемінною товщиною стінки (а) і з протягуванням півфабрикату (б)

Способи видавлювання деталей із керуванням кінематикою течії металу

Обмеження властиві і відомим способам поперечного видавлювання з односторонньою подачею металу в приймальню порожнину. Усунення нерівномірності деформування можна досягти за рахунок того, що за новим способом процес здійснюють 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. 3.14, а). На іншій стадії здійснюють видавлювання з двосторонньою подачею металу частин заготовки, що деформується, розташованих по обидві сторони від порожнини матриці [60].

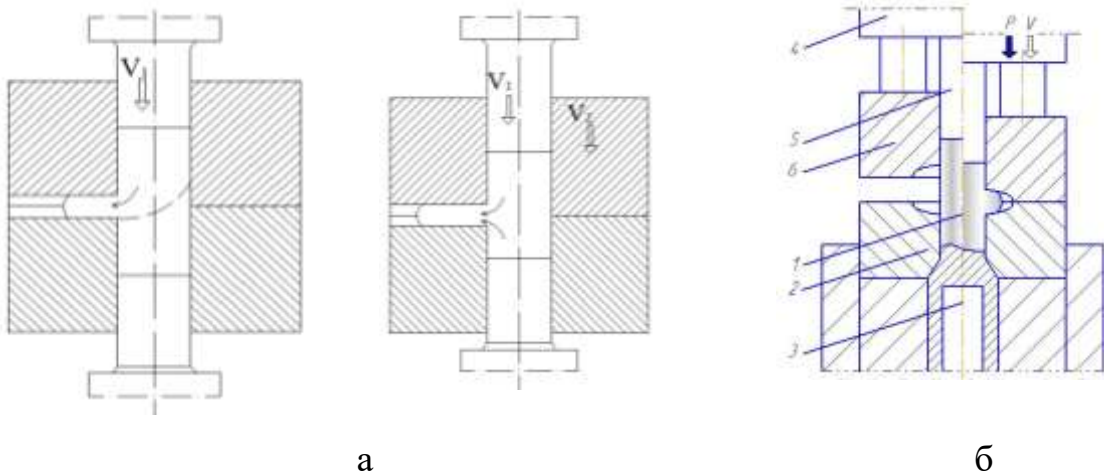


Рисунок 3.14 – Способи поперечного видавлювання з регульованою подачею металу в порожнину матриці

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. 3.14, б) [61].

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. 3.15) [62], а також підвищення ступеня опрацювання металу по всьому об'єму виробів, що видавлюються (рис. 3.16) [63].

Для зниження або усунення такого дефекту, як утягнення на дні стакану, можливе використання сил контактної тертя, зокрема шляхом виконання процесу в режимі реверсивного тертя або за рахунок технологічних буртів на поверхні або на дні стакану (див. табл. 3.1 схеми 1,2 і 9).

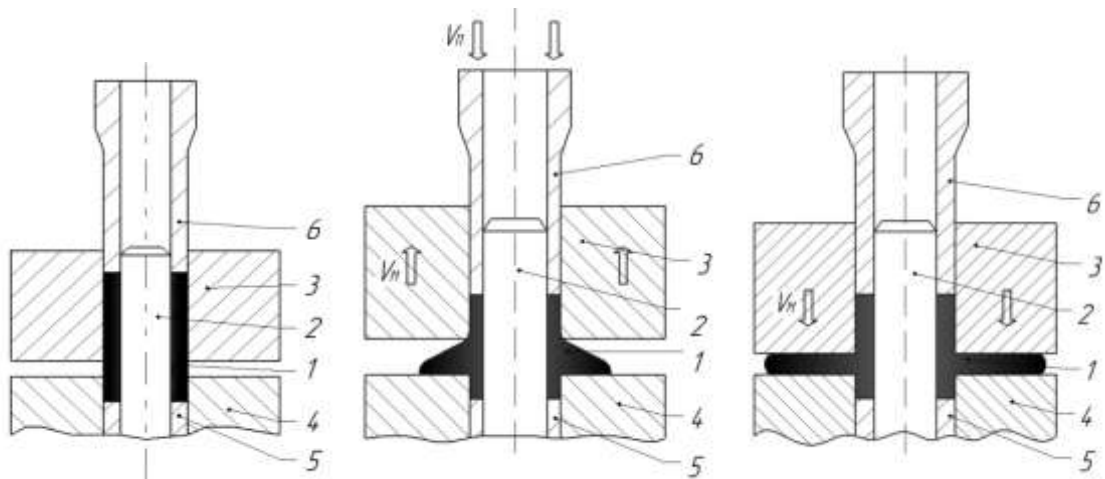


Рисунок 3.15 – Спосіб комбінування радіального видавлювання з висадкою фланця

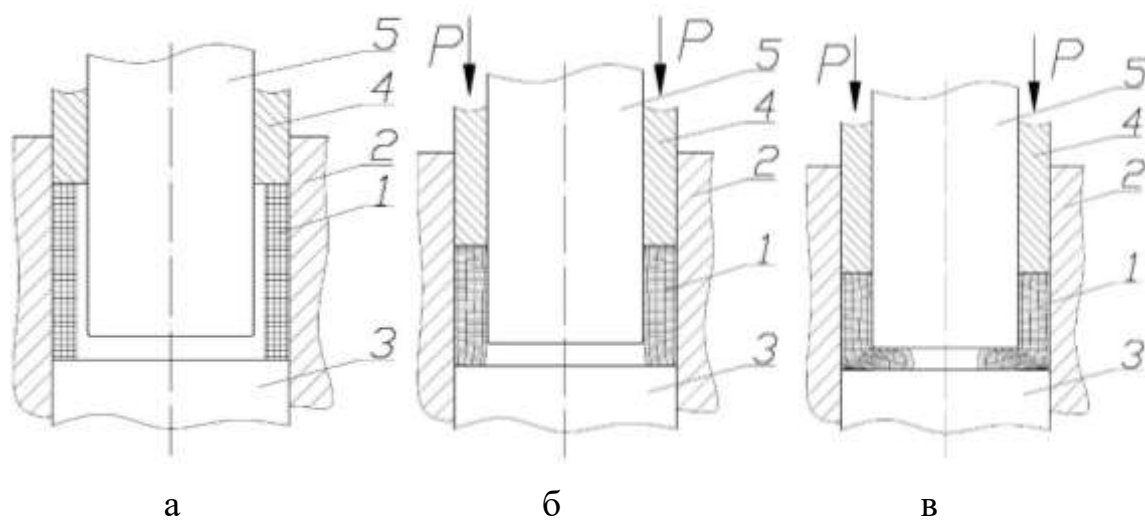


Рисунок 3.16 – Спосіб комбінування радіального видавлювання з висадкою вихідної заготовки і фланця

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 [54, 64–66]. 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 його донній частини, а на другому етапі відбувається витіснення металу з технологічного відростку назад у донну частину стакану (див. схему 10 у табл. 3.1 рис. 3.21) [54]. Знакозмінна деформація, якій піддається метал в донній частині напівфабрикату – стакану за рахунок спочатку прямого, а потім зворотного витискування (видавлювання) металу в донну частину, забезпечує її добру проробку.

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 у полотно (рис. 3.17) [66].

Способи знакозмінного деформування корисні й для виготовлення деталей з фланцем. Їх сутність полягає у радіальному видавлюванні металу заготовки в кругову порожнину [67] та відрізняється тим, що заготовка попередньо редукується у нижній (рис. 3.18, *а*) або верхній напівматриці (рис. 3.18, *б*). При обтисненні заготовки створюється сприятлива схема напружено-деформованого стану, а саме всебічне стиснення, що підвищує якість поверхневих шарів заготовки і пластичність металу, оскільки «заліковує» мікротріщини та дефекти поверхневого шару заготовки та сприяє кращій обробці металу у фланці на стадії радіального видавлювання.

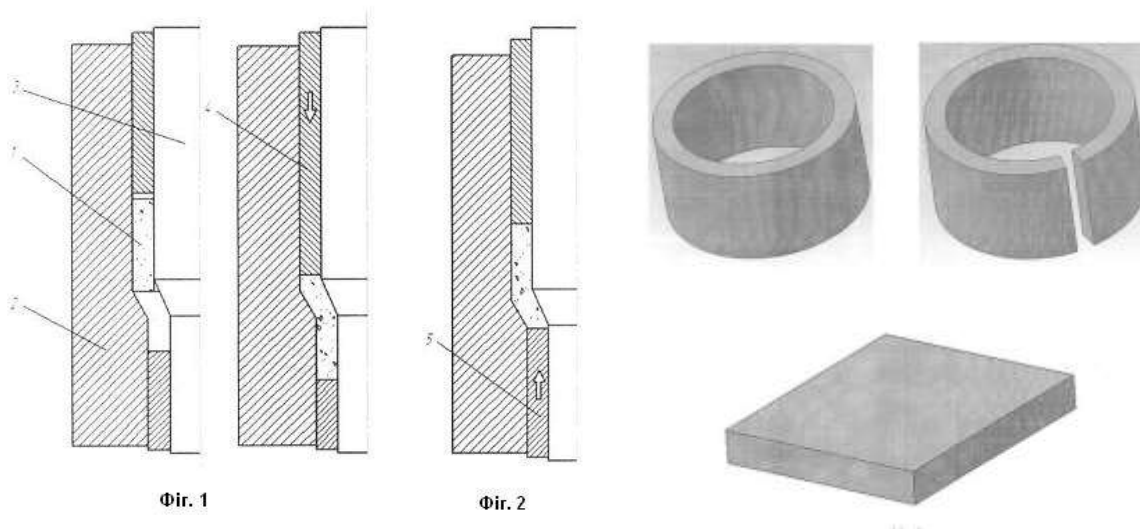


Рисунок 3.17 – Спосіб інтенсивного пластичного деформування

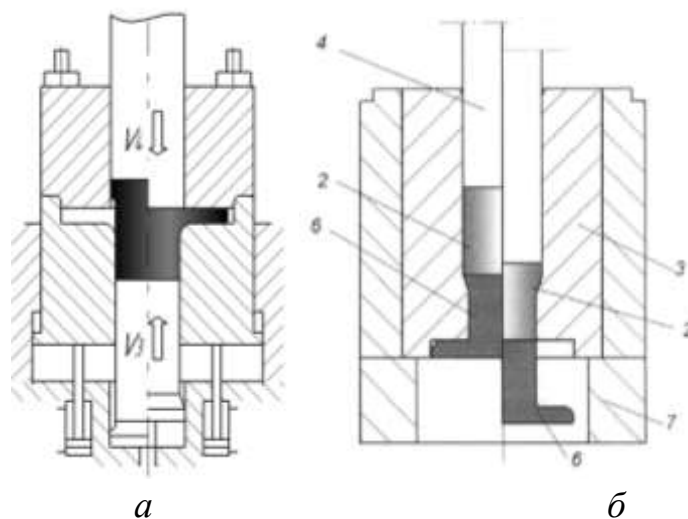


Рисунок 3.18 – Способи комбінування процесів обтиснення заготовки і радіального видавлювання (способи знакозмінного деформування)

Способи комбінування процесів видавлювання і поділу деталей

Для отримання деталей типу кільця комбінуванням радіального видавлювання з пробивкою-відділенням кільця від багатощучної вихідної пруткової заготовки розроблений спосіб, наведений на рис. 3.19, *а* [68, 69]. Раніше були розглянуті способи, за якими комбіноване радіально-пряме видавлювання супроводжувалося відрізанням отриманого напівфабрикату від вихідної багатощучної заготовки в зоні розвороту течії (див. рис. 3.12 і рис. 3.19, *б, в*) [70] або в зоні радіальної течії (рис. 3.19, *г*) [71].

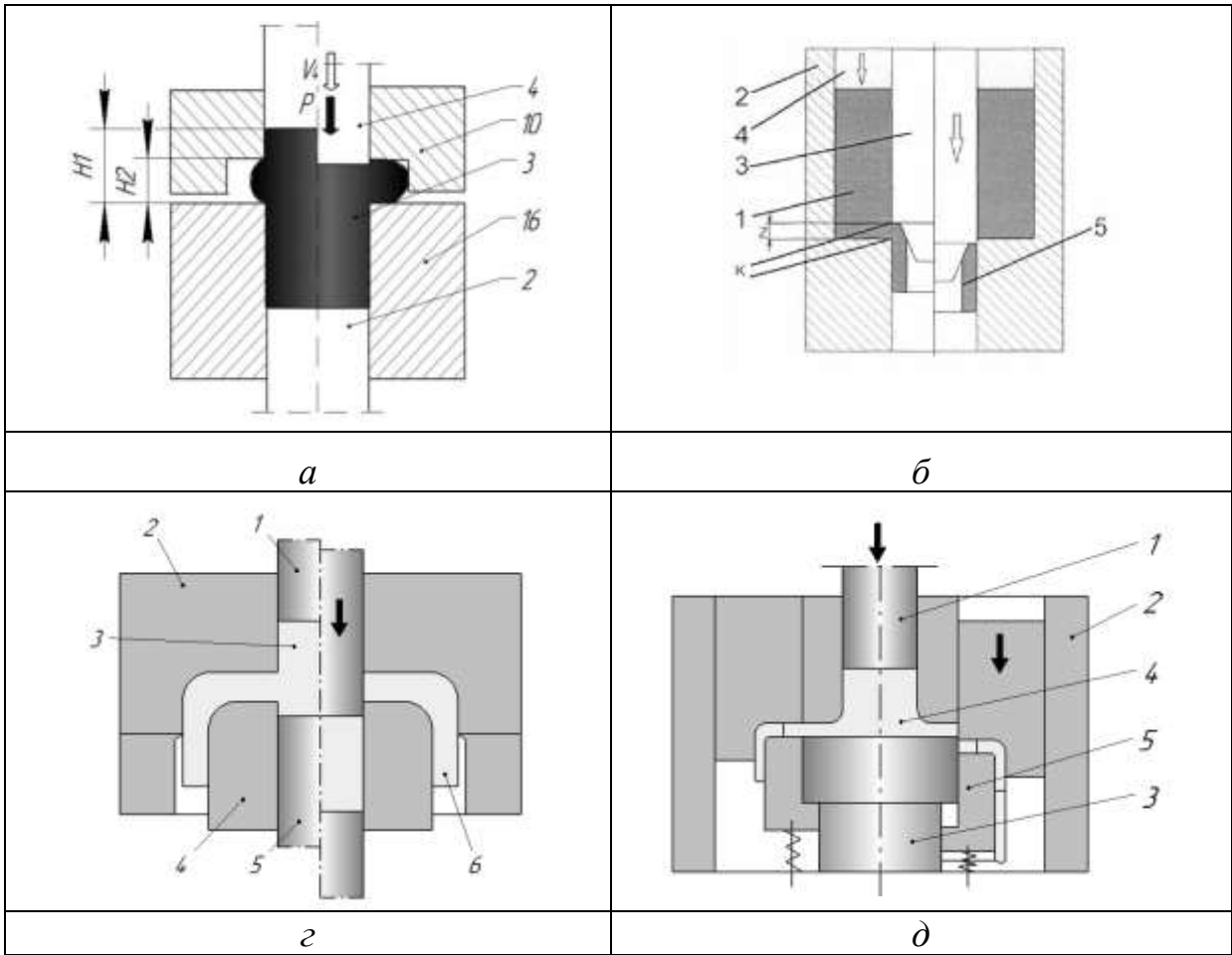


Рисунок 3.19 – Способи комбінування процесів видавлювання та відокремлення деталей від вихідних заготовок

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 відрізання 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 (рис. 3.20) [72].

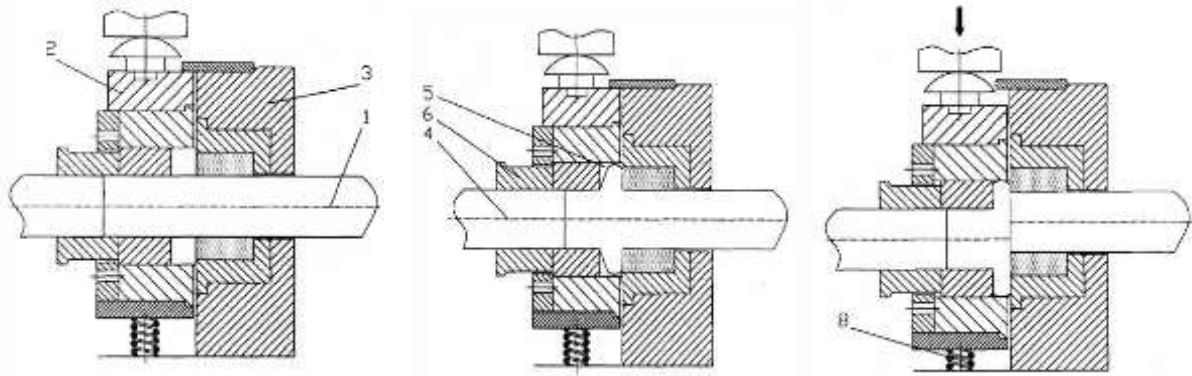


Рисунок 3.20 – Спосіб комбінованого розділу пруткового матеріалу

Використання нових способів значно поширює можливості процесів видавлювання за рахунок отримання складних деталей і підвищення якості деталей, що штамуються. Отже, це відкриває шляхи для подальшого удосконалення процесів точного об'ємного штампування видавлюванням. Таким чином, проведення досліджень процесів виготовлення деталей за новими способами видавлювання, які підвищують якість та знижують витрати на їх виробництво, є актуальними.

3.5 Проектування процесів точного об'ємного штампування прецизійних деталей

3.5.1 Методика проектування технологій 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. Особливість також в тому, що технології відрізняються багатоваріантністю можливих рішень. 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 [2, 73]. Науково-методичні засади сучасних методик проєктування технологічних процесів (ТП) базуються на концепції групового методу організації виробництва деталей і системному підході до вирішення поставлених завдань [2–4].

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 проєктування, 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 проєктування процесів (рис. 3.21), в основу якої лягли відомі алгоритми розробки технологій штампування [2–4, 6–8, 73]. У системі проєктування технологій видавлювання можна виділити сім основних етапів проєктування, інформаційне забезпечення і систему моделей, необхідних для реалізації цих етапів [2–4, 73].

На першому етапі проєктування 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].

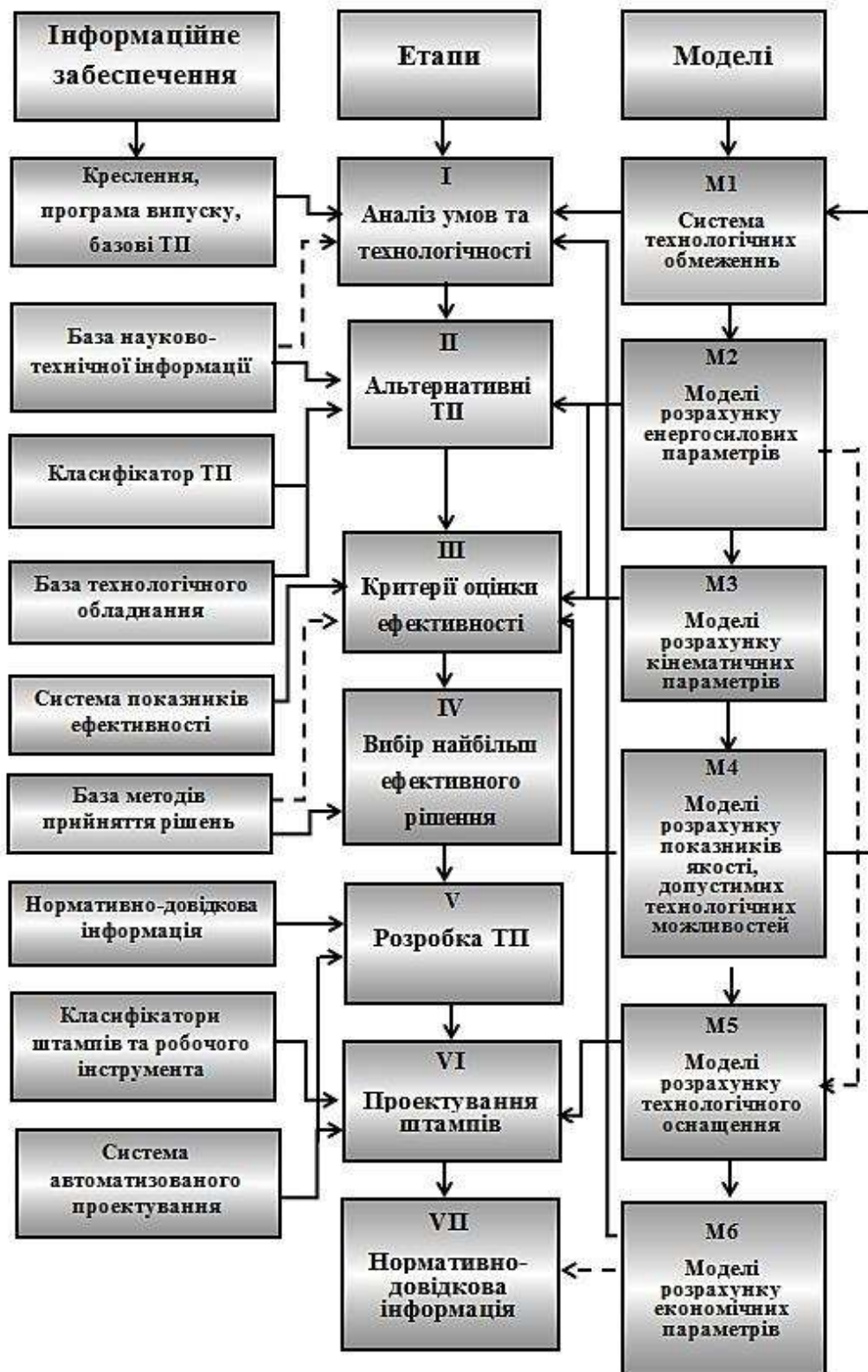


Рисунок 3.21 – Алгоритм розробки процесів холодного видавлювання

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 (4, 73). 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, а також узагальнені принципи виконання технологій об'ємного штампування [2–7].

Четвертий етап проектування – вибір найбільш ефективного варіанту технологічного процесу; реалізується з використанням встановлених критеріїв оцінки [2, 4].

П'ятий етап – розробка технологічного процесу. Оптимальним вирішенням завдань даного етапу є їх виконання на персональних комп'ютерах в діалоговому режимі. Для проєктування технологій і штампового оснащення створені сучасні системи САПР ТП [2, 8, 10], 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 штамів.

На шостому етапі здійснюється детальна розробка технологічного оснащення. В якості вихідної інформації використовуються класифікатори штамів і змінних інструментів, в тому числі з роз'ємними матрицями [6–8, 39–41], сучасні комп'ютерні системи проєктування штамів, 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 відпрацюванні технології, а також випробуванні штампового оснащення і деформуючого інструменту.

У рамках реалізації другого етапу проєктування процесів комбінованого видавлювання розроблена база даних в вигляді матриці плоских і осесиметричних кінематичних модулів – КМПШ, що імітують осадження, обтиснення, розворот, розтягнення і затікання в кут. Для вирішення осесиметричних задач на базі простих полів швидкостей з елементами прямокутної і трикутної форми в ДДМА розроблені кінематичні модулі (елементи) трапецеїдальної і трикутної форми з різним орієнтуванням прямої і криволінійної похиленої межі, що дозволяють описати практично будь-який осередок деформації [4, 8, 73]. Для деталей із 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].

У 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, деформованість металу за схемами.

Наприклад, для деталей типу стакан (втулки) з фланцем (рис. 3.22) 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. 3.22) розроблені за аналогією з варіантами поздовжнього видавлювання, запропонованими Х. Кудо [4].

Усі варіанти отримання стакану передбачають видавлювання вихідних суцільних заготовок в нерухомій або рухомій матрицях.

Спосіб традиційного зворотного видавлювання (варіант 1) деталей типу стакану 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.

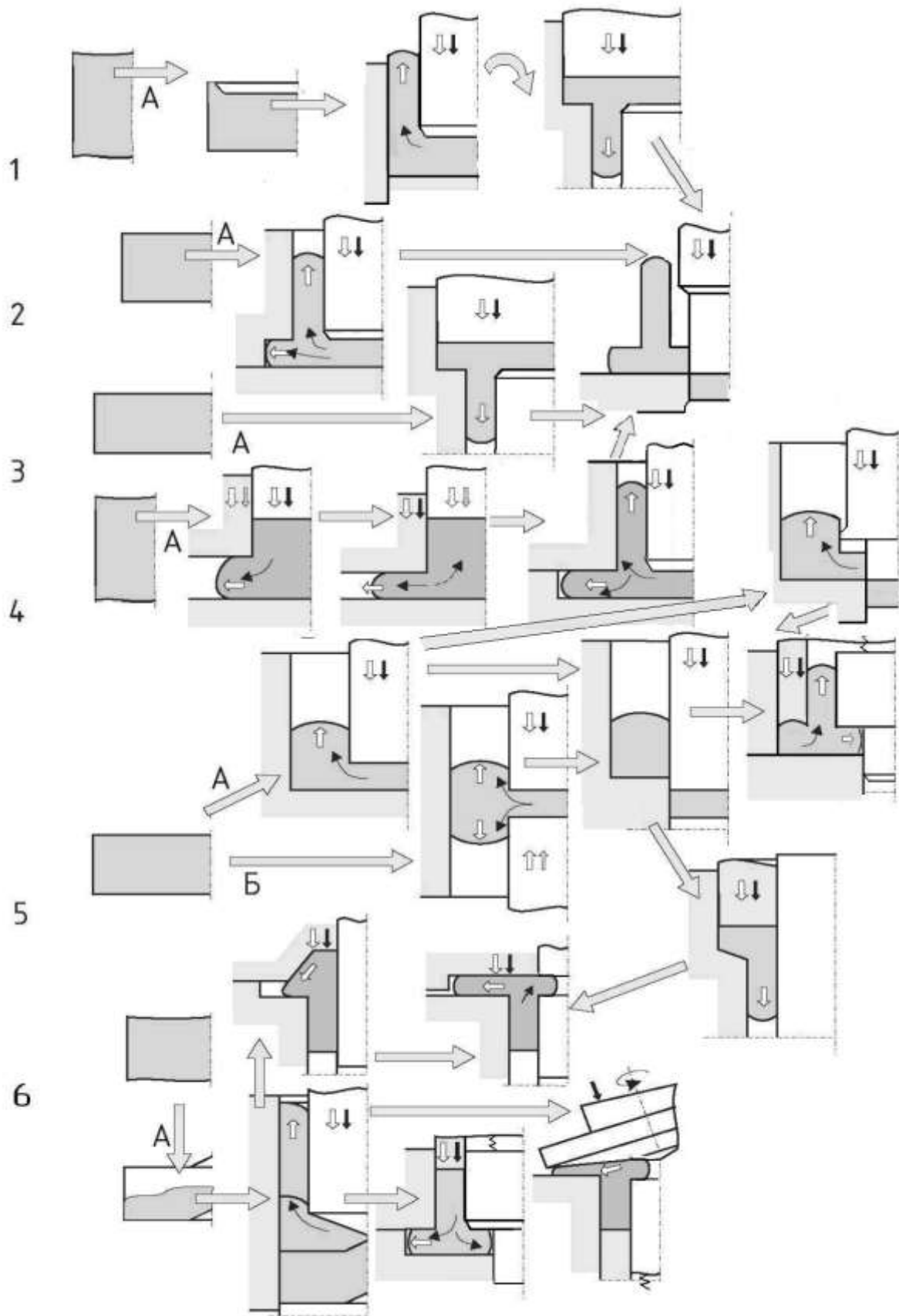


Рисунок 3.22 – Варіанти видавлювання деталі типу «стакан із фланцем»

При необхідності отримання тонких фланців (товщиною до 5 мм і діаметром 50 мм і більше) доцільно поєднання видавлювання з остаточним формуванням (схеми *a* і *б*) на пресах підвищеної жорсткості або на сферорухомих 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.

При отриманні деталей з масивними фланцями комбінованому видавлюванню може передувати радіальне видавлювання (варіант 4), що забезпечує набір необхідного об'єму фланця. Отримання напівфабрикатів у вигляді втулок (варіант 5) видавлюванням стакану 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. 3.4). З таких напівфабрикатів можна отримати втулки з фланцем на зовнішній або внутрішній поверхні. Особливим методом формоутворення фланців є і спосіб холодної торцевої розкатки фланців [3, 22, 25]. Для отримання масивних фланців рекомендується виконати попередній набір металу під фланець, що дозволяє віднести до перспективних процесів, заснованих на поєднанні видавлювання зі схемою розкатки.

3.5.2 Технологічні процеси видавлювання типових деталей

Типові 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_f . Стрижень можна видавлювати із ступенем деформації до 75%. При $D_f/d_c > 2$ процес формоутворення включає в загальному випадку дві операції: пряме видавлювання стрижня і подальша висадка фланця (рис. 3.23).

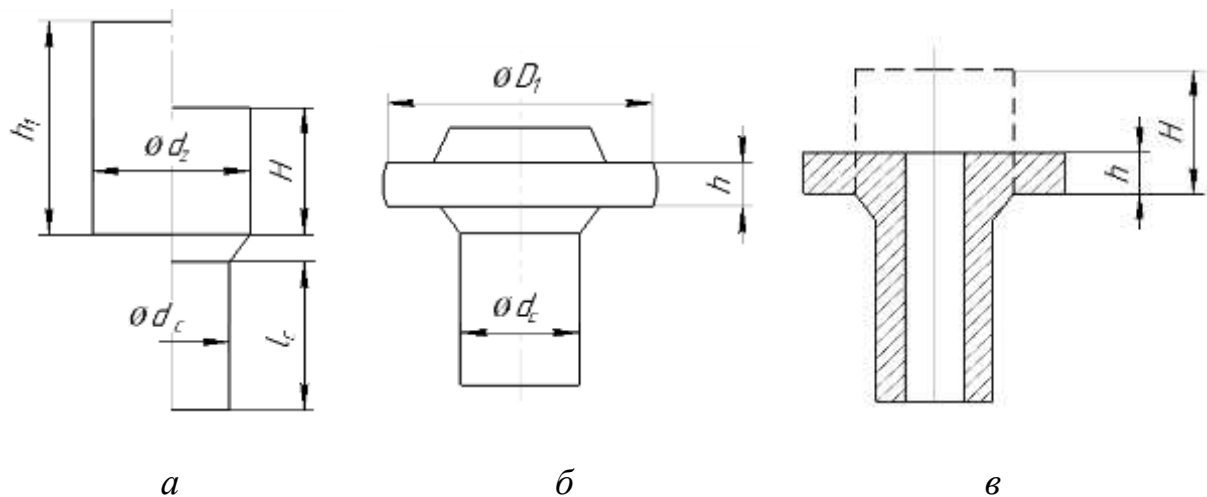


Рисунок 3.23 – Видавлювання стрижневих деталей із фланцем

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. 3.23). Крім того, граничний діаметр фланця обмежений ресурсом пластичності деформованого матеріалу. На операції прямого видавлювання рекомендується призначити перехідну конічну ділянку з кутом нахилу $30-60^\circ$ і радіусом заокруглення крайок матриці. Довжина стрижня, що видавлюється, при цьому повинна бути трохи менше (на 1–3 мм)

довжини стержня у готової 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 – $e = \ln(H/h)$.

Видавлювання стрижневих порожнистих деталей з фланцем (рис. 3.23, в) за послідовністю і критеріям не відрізняються від суцільних деталей. Ступінь деформації необхідно обчислити за реальними площами. За отриманими значеннями ступеня ε , можна встановити і силові параметри.

Одноперехідне видавлювання ступінчастих стрижневих деталей з широким фланцем може бути здійснено комбінованим видавлюванням за чотирма схемами деформування, представленим на рис. 3.24.

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 [6, 7]. 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) [4, 13].

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.

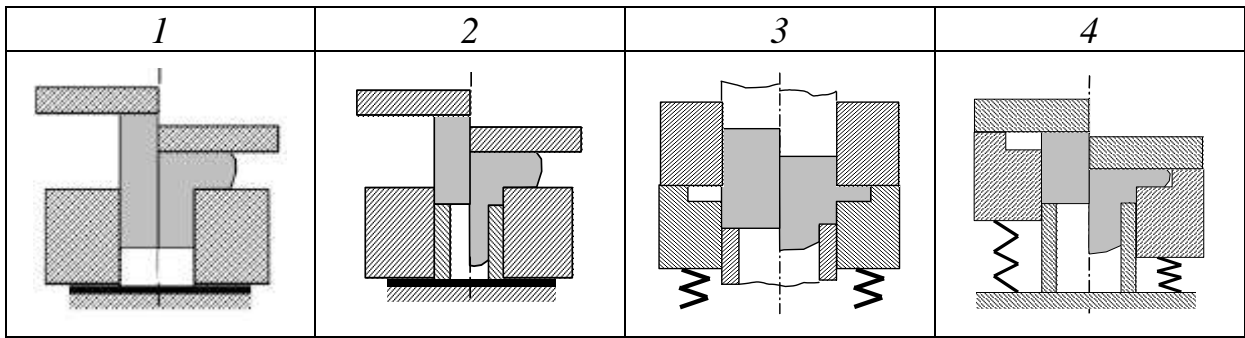


Рисунок 3.24 – Технологічні варіанти виготовлення деталі типу «стрижень із відростком і широким фланцем»

Радіальне видавлювання деталей з фланцем

Радіальне видавлювання (рис. 3.25) є енергозберігаючим процесом і відрізняється можливістю регулювання кінематики течії металу і силового і деформаційного режимів процесу. Заготовка вибирається по діаметру стрижневої частини деталі. Ступінь деформування при радіальному видавлюванні можна встановити, як

$$e = \ln \frac{S+h}{h}, \quad (3.1)$$

де S – хід пуансону, мм;

h – товщина фланця.

Гранична товщина фланця на трубчастих заготовках обмежена тим, що при видавлюванні можливе поява дефектів типу утягнень. 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_k («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 ψ шийки зразка при розтягуванні до руйнування.

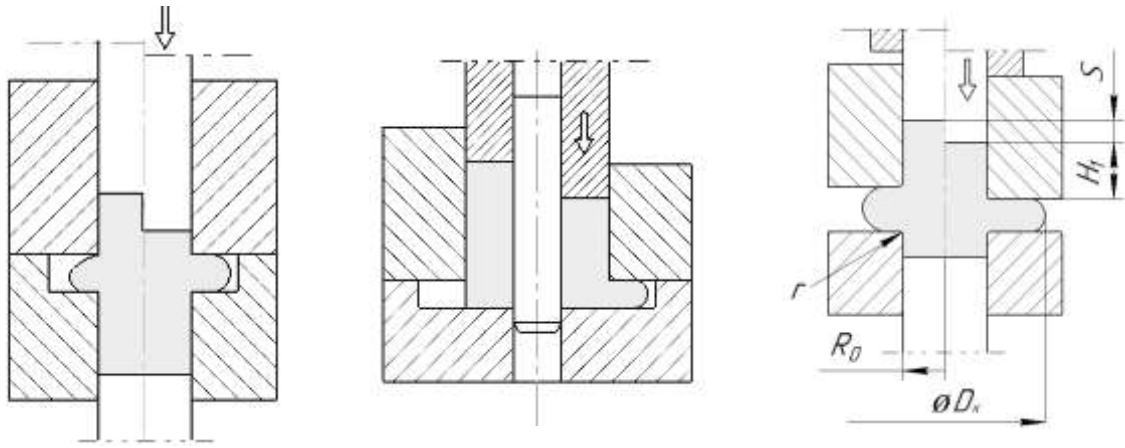


Рисунок 3.25 – Схема радіального видавлювання деталей з фланцем

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

$$\frac{D_{\kappa}}{d_z} = 1,8 \left(10 \frac{h}{d_z}\right)^{0,146} \cdot \left(10 \frac{r}{d_z}\right)^{0,043} \psi^{0,52}. \quad (3.2)$$

і фланця

$$\frac{D_{\kappa}}{d_z} = 1,725 \left(10 \frac{h}{d_z}\right)^{0,14} \cdot \left(10 \frac{r}{d_z}\right)^{0,04} \psi^{0,5}. \quad (3.3)$$

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. 3.25) гранична ступінь видавлювання фланців збільшується в 1,5–2 рази.

Типові технологічні процеси видавлювання порожнистих деталей

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. 3.26).

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

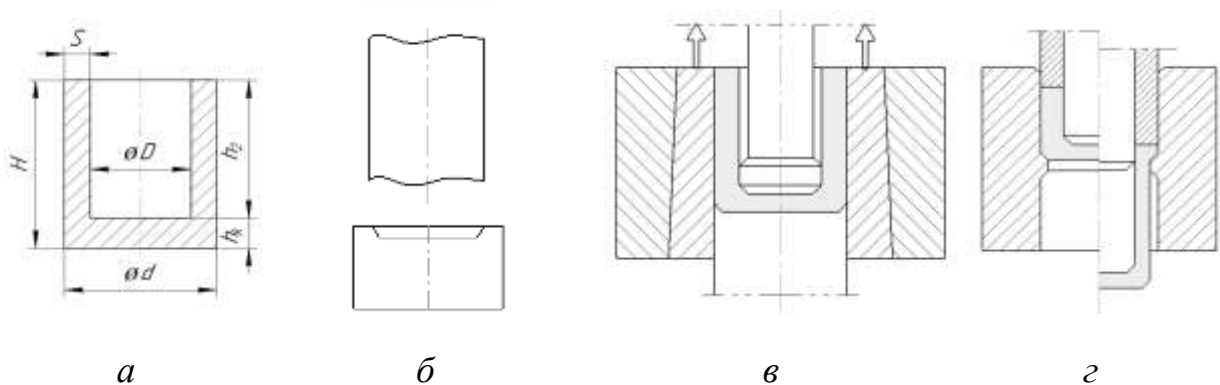


Рисунок 3.26 – Переходи штампування деталей типу стаканів і гільз

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 $s = 2 \dots 15$ мм при відносній висоті $H/d \leq 1,2$, $s = 0,5 \dots 6$ 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 поверхні зростає в рази і це приводить до розриву сильно стоншеної плівки

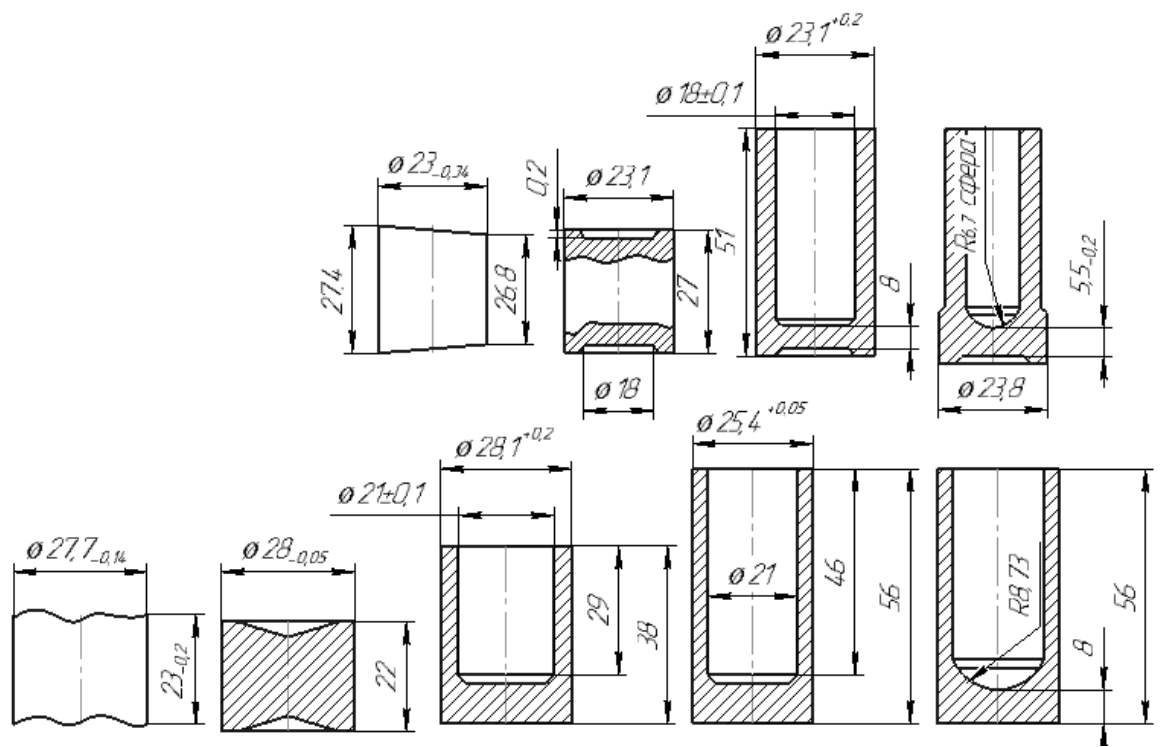
змащення. Пуансони складної форми торця можуть розривати змащувальне покриття навіть при невеликій глибині порожнини. Такі деталі з фасонною формою дна слід виготовляти за два переходи: на першому отримати стакан з порожниною потрібної (дозволеної) глибини, а потім на другому переході формувати дно стакану (рис. 3.27) [2, 6].

Відносну глибину видавленої порожнини $\lambda_n = h_2/D$ рекомендовано призначати в залежності від питомого зусилля деформування [2, 6]: для сталевих заготовок відносна глибина видавлювання $\lambda_n = h_2/D \leq 2 \dots 2,5$.

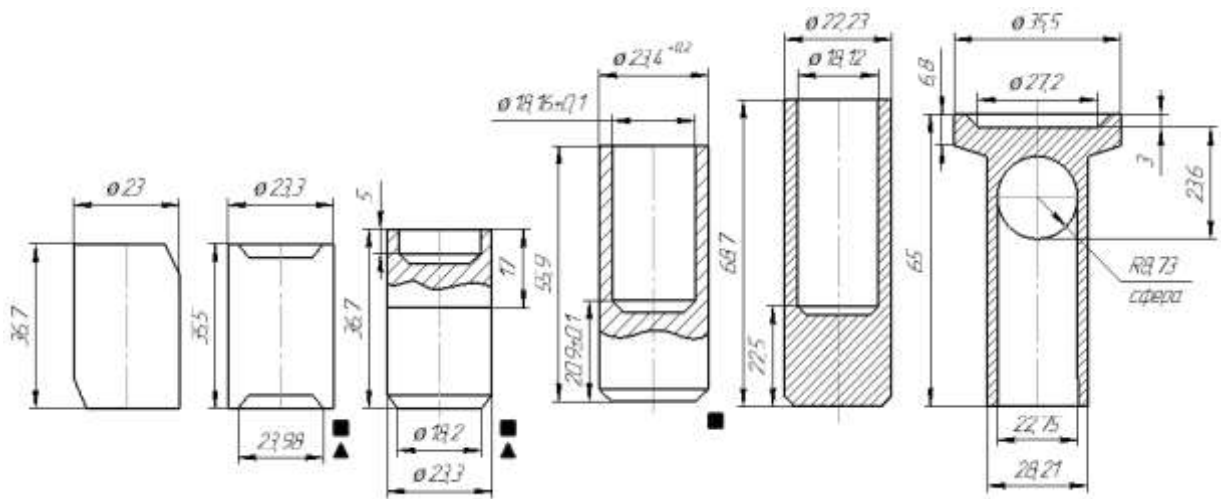
$p,$ $МПа$	600	800	1000	1400	1800	2000	2200	2400
λ_n	8,0	6,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Для отримання глибоких тонкостінних стаканів зворотне видавлювання доповнюють операцією витяжки зі стоншенням стінки або прямим видавлюванням на оправці (рис. 3.27, а і 3.28) [6]. Деталі, виготовлені зворотним видавлюванням, слід піддавати подальшому прямому видавлюванню (протягуванню) для стоншування стінки до необхідних розмірів p невеликим ступенем деформації, що сприяє також підвищенню точності розмірів деталей.

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



а



б

Рисунок 3.27 – Послідовність видавлювання деталей типу стаканів

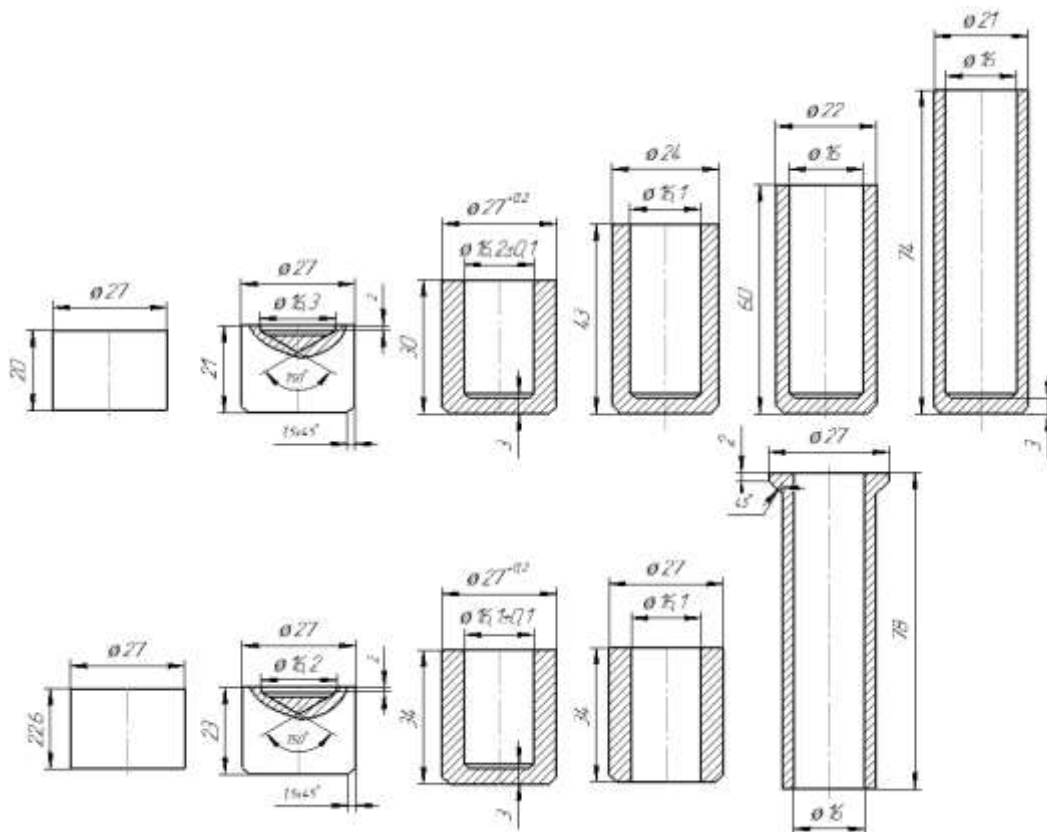


Рисунок 3.28 – Послідовність виготовлення порожнистих деталей

Видавлювання ступінчастих стаканів

Ступінчасті стакани можуть бути трьох видів: зі ступінчастим зовнішнім контуром, із ступінчастою порожниною, а також із ступінчастими зовнішнім і внутрішнім контурами (рис. 3.29). Найбільш технологічні стакани 2-го виду. Для їх виготовлення використовується одноперехідне видавлювання ступінчастим пуансоном, якщо параметр глибини порожнини λ_n не перевищує 2,5 і якщо перехід між ступенями можна виконати з великими радіусами R і R_1 .

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.

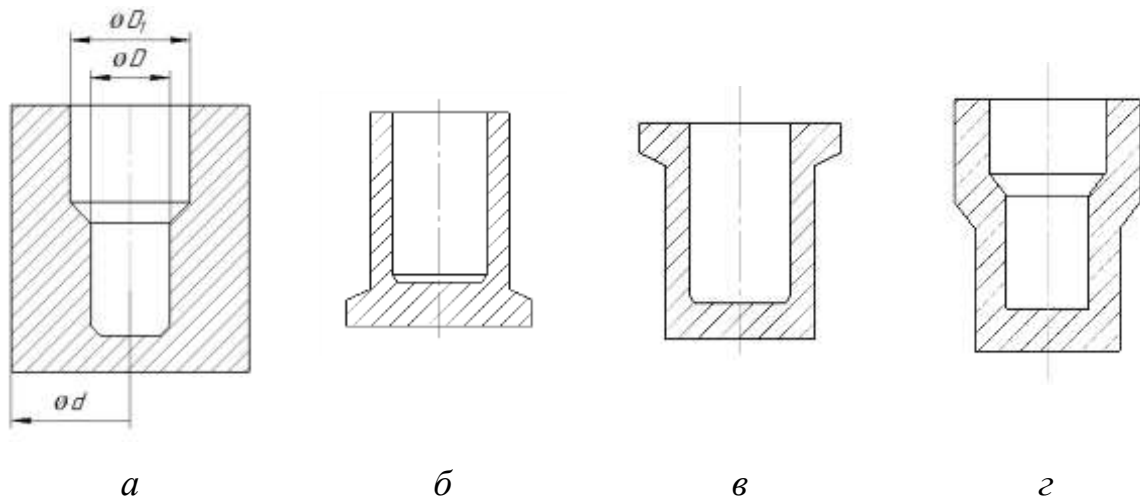


Рисунок 3.29 – Ступінчасті деталі, що можна отримати видавлюванням

Складніше видавлювання стаканів із ступінчастим зовнішнім контуром. Якщо фланець або стовщення розташовується з боку дна (рис. 3.29, б), деталь можна отримати прямим видавлюванням на контрпуансоні (рис. 3.30, а). Технологічно це просто, але ускладнюється конструкція штампа, 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. 3.30, б). Двохперехідним варіантом (рис. 3.30, в) передбачено висадка фланця на дні стакану, яка виконується в окремому штампі.

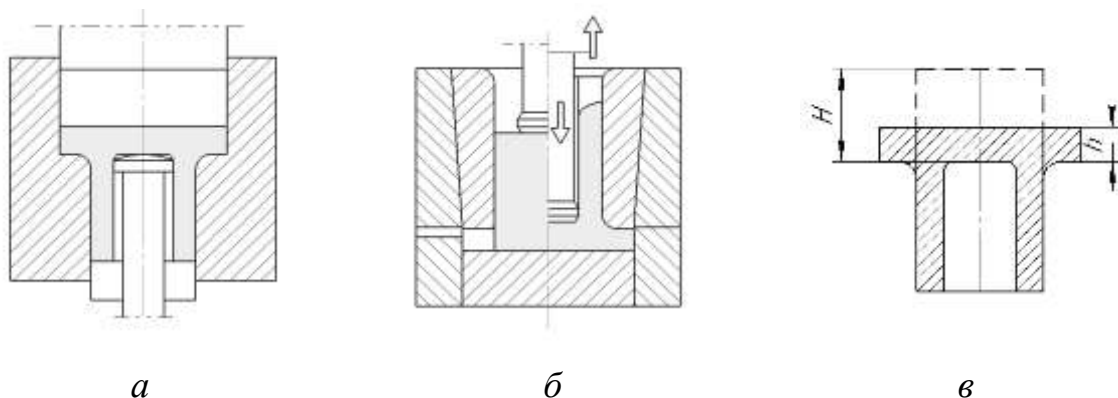


Рисунок 3.30 – Способи отримання деталей типу стакан з фланцем біля дна

Деталі типу стакан із 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. 3.26, г). Другий варіант – це висаджування фланця на кромки стакану (рис. 3.31, а). Однак цей варіант потребує достатньої товщини стінки стакану для запобігання втрати її стійкості.

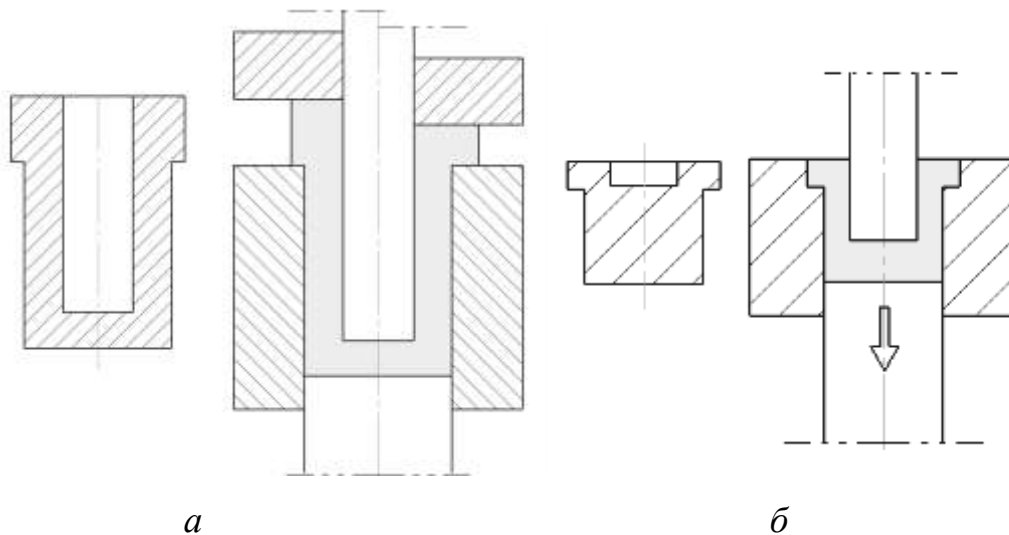


Рисунок 3.31 – Видавлювання стаканів з фланцями біля верхньої кромки

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. 3.31, б).

На рис. 3.32 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 [6].

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

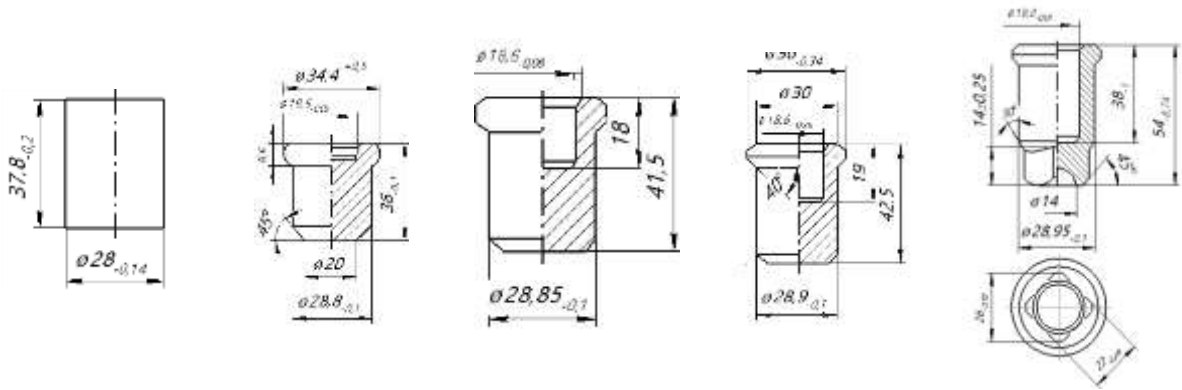


Рисунок 3.32 – Переходи при штампуванні деталей складної форми

Видавлювання стаканів із складною формою дна у вигляді заглибленням 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. 3.27). 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. 3.33, а) незначно ускладнюють процес видавлювання.

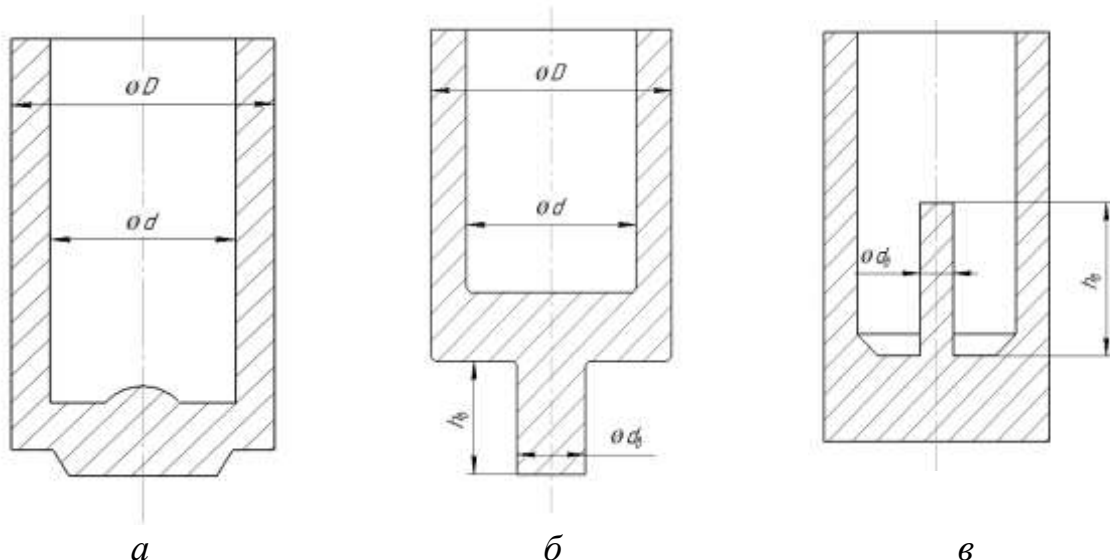


Рисунок 3.33 – Приклади стаканів з виступами (відростками) на дні

Високі виступи на дні (рис. 3.33, б і в) можна отримати способом комбінованого видавлювання на основі використання принципу управління процесами з двома ступенями свободи течії металу [57]. 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. 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. 3.34, а) розроблені процеси видавлювання з роздачею (рис. 3.34, б) і послідовного радіально-прямого видавлювання (РПВ) порожнистих деталей (рис. 3.34, в). При видавлюванні з роздачею діаметр заготовки дорівнює діаметру порожнини, а в РПВ – процесі діаметр заготовки менший приблизно в два рази [4]. За рахунок цього і зміни схеми напружено-деформованого стану зменшуються потрібні сили деформування.

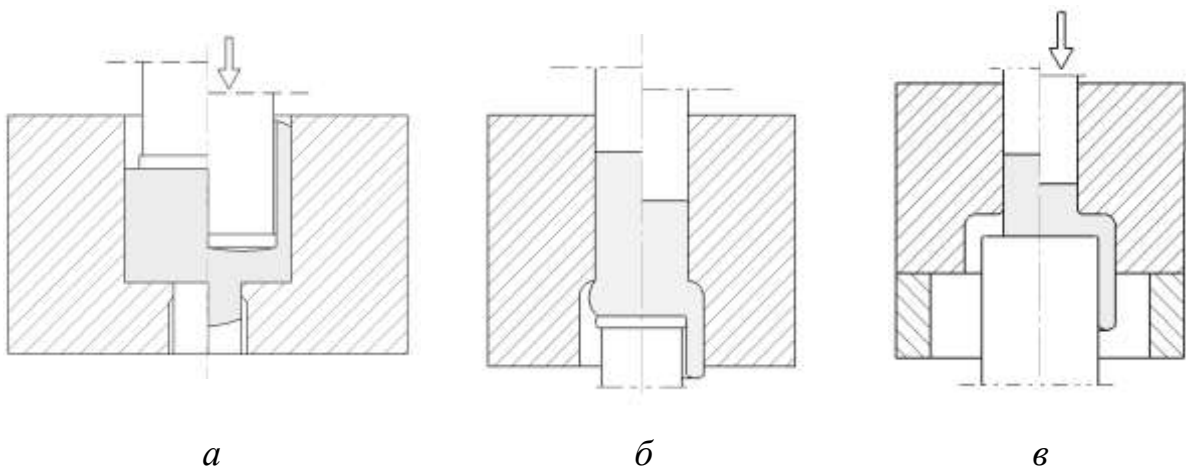


Рисунок 3.34 – Схеми комбінованого видавлювання деталей типу стаканів з зовнішніми відростками

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 деформовності металу заготовок і утворення тріщин [4].

Для виготовлення гладких довгих втулок з трубної заготовки використовують операцію прямого видавлювання на прохід (рис. 3.35) за принципом заготовка за заготовкою [2, 11].

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 $l_0/D_1 = 5...8$.

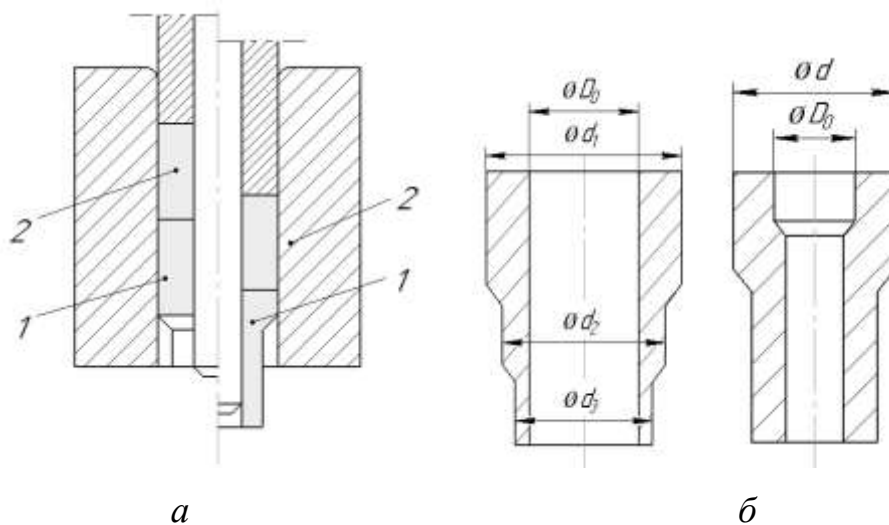


Рисунок 3.35 – Схема прямого видавлювання гладкої втулки на прохід (а) і різновиди ступінчастих втулок (б)

Проміжною операцією для підготовки вихідної заготовки може служити спосіб наскрізного прошивання конічним пуансоном (див. рис. 3.4). Простим способом отримання трубчастої заготовки є і процес зворотного видавлювання з подальшою пробивкою дна.

Втулки із ступінчастим зовнішнім контуром отримують послідовним видавлюванням ступенів 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 або за схемою радіального видавлювання на оправці (див. рис. 3.3)

Процеси видавлювання деталей типу коробок

Коробки – досить поширений вид деталей, що виготовляються видавлюванням [2, 6, 57]. 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 осесиметричного. Тому деталі виходять з відхиленнями форми у вигляді фестонів (рис. 3.36). Це призводить до збільшення витрати металу і необхідності додаткової операції обрізання. Простий спосіб зниження висоти фестонів – використання пуансонів з квадратною рискою на торці. У результаті дно має сітчасту форму (рис. 3.36, 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 %.

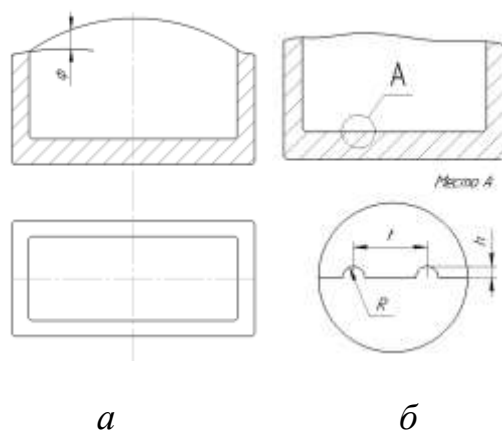


Рисунок 3.36 – Коробки, які виготовляють видавлюванням гладким пуансоном (а) і пуансоном із насічкою на торці (б)

Для зменшення фестонів використовують пуансони 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.

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).

3.6 Особливості проєктування технологічного оснащення для процесів точного об'ємного штампування

3.6.1 Штампи 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 матрицетримувачі. 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. 3.37), 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, 7, 57].

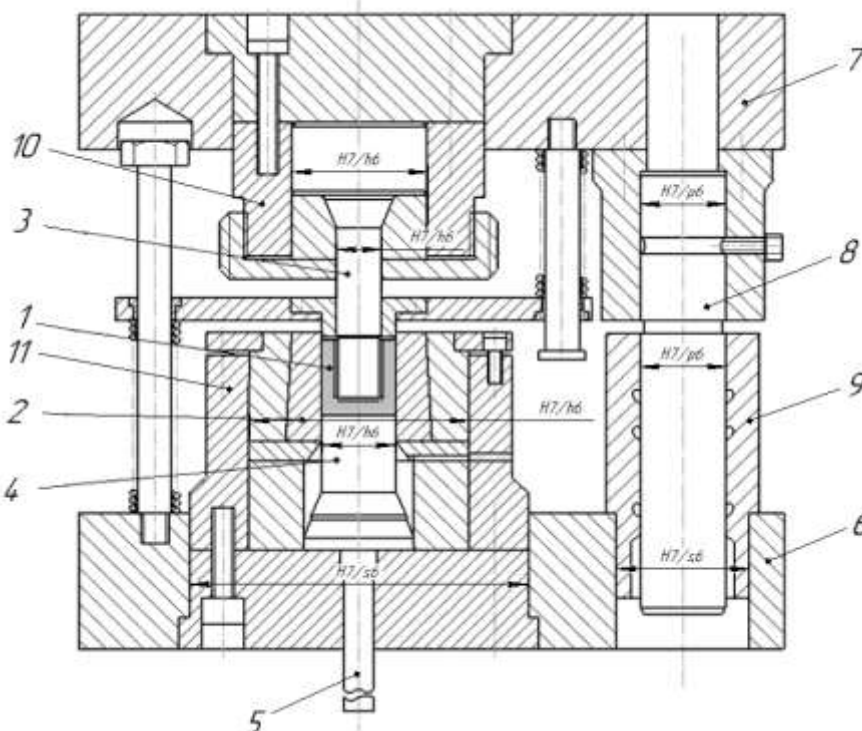


Рисунок 3.37 – Штмп для холодного зворотного видавлювання:
 1 – деталь; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – контрпуансон; 5 – товкач;
 6 – плита нижня; 7 – плита верхня; 8 – колонка; 9 – втулка;
 10 – пуансоотримач; 11 – матрицетримач

Розглянемо деякі конструкції штампів для основних способів холодного видавлювання, які описані в літературі [1, 2, 6, 7].

Кріплення пуансона в пуансонотримачі проводиться за допомогою накидної (рис. 3.38) або вставної гайки (рис. 3.39). 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.

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 [2, 6]. Зазвичай застосовують знімач у вигляді рухомої траверси з отвором, встановленої з підпружинюванням на двох великих гвинтах (див. рис. 3.37). 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. 3.39) [1, 7, 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.

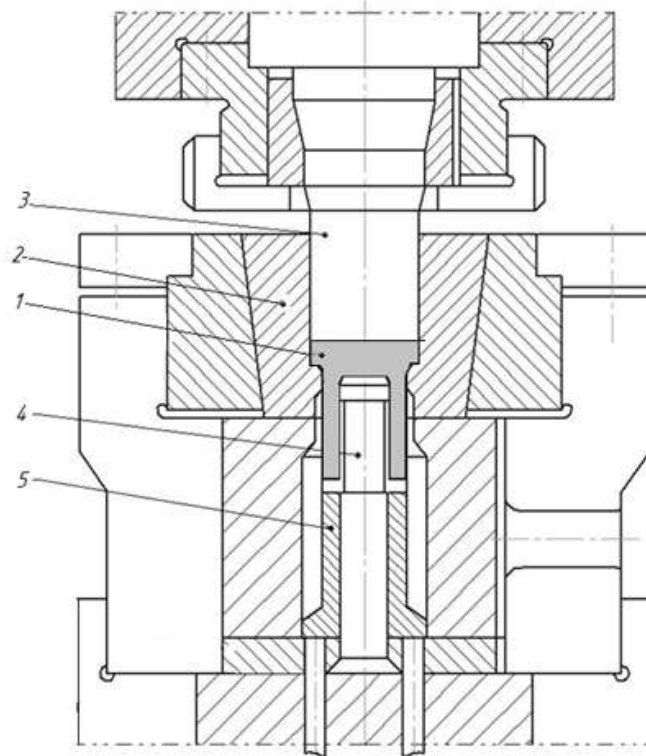


Рисунок 3.38 – Схема штампа для прямого видавлювання з контрпуансоном: 1 – деталь; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – контрпуансон; 5 – виштовхувач

Необхідність вбудовувати виштовхуючі пристрої безпосередньо в штамповий 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.

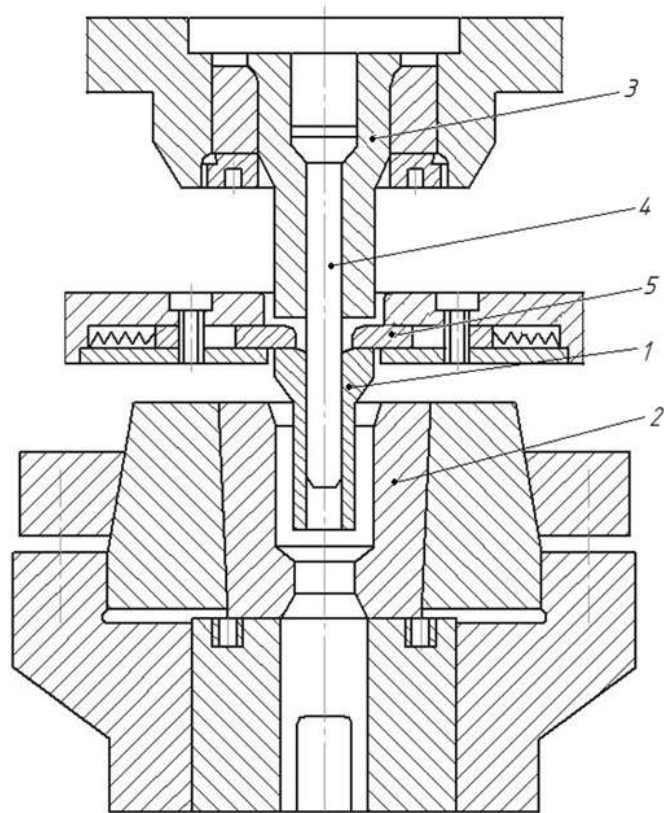
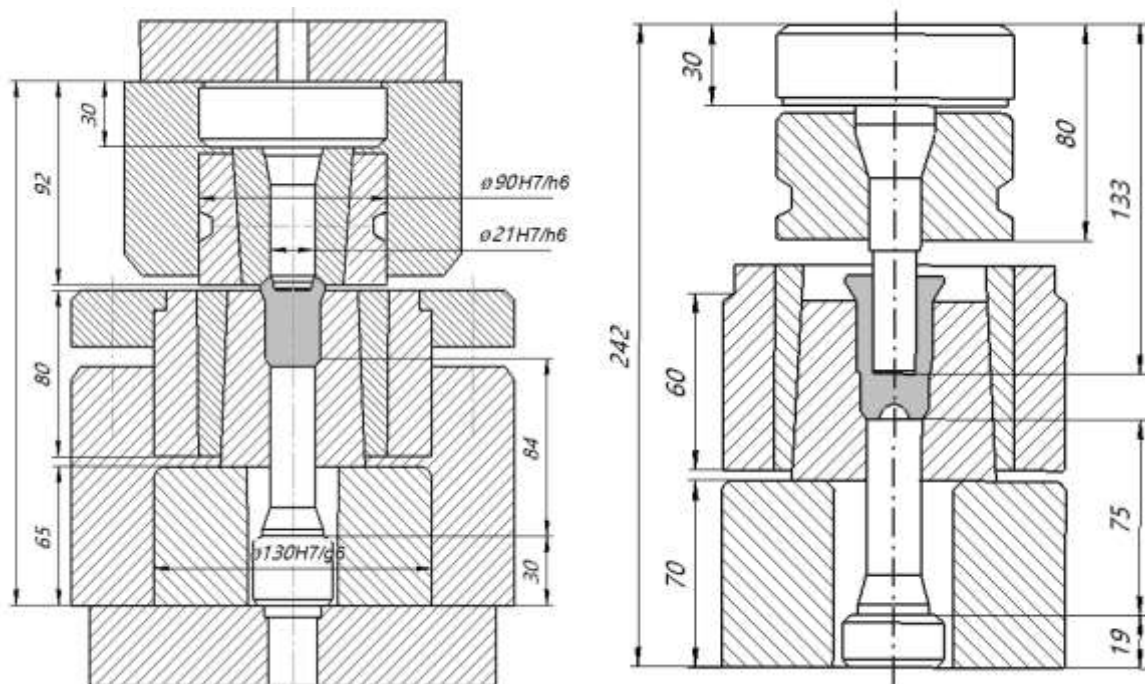


Рисунок 3.39 – Схема штампа зі щелепним знімачем: 1 – деталь; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – оправка; 5 – щелепи

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. 3.37) складається з уніфікованого блоку з двома парами направляючих колонок і втулок. Тримачі швидкозмінного робочого інструмента врізані в опорні плити. Пакети штамтів забезпечують універсальність їх конструкції та швидке переналагодження.

У чотирьохпозиційному штампі для штамповки ковпачкової гайки змінні наладки виконані у вигляді пакетів (рис. 3.40), які швидко встановлюються у гніздах універсального блоку, що є оптимальним рішенням проблеми стандартизації і гнучкості виробництва для позицій № 1 і № 4 процесу видавлювання ковпачкової гайки (див. рис. 3.33) [6].



*Рисунок 3.40 – Змінні пакети для позицій чотирьохпозиційного штамп
для видавлювання ковпачкової гайки.*

Штамп для прямого видавлювання (рис. 3.41) 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 [1, 7].

Для прямого видавлювання глибокої порожнистої деталі типу гільзи з вихідної заготовки-стакану розроблений штамп для прямого видавлювання на оправці (рис. 3.42).

При видавлюванні потовщень матриця виконується з двох бандажованих частин з горизонтальною площиною роз'єму. У процесі деформування напівматриці повинні бути притиснуті один до одного з великою силою. Для цієї мети використовуються пневмо-гідролічні пристрої, пакети тарілчастих пружин або поліуретановий буфер (рис. 3.43 і 3.44).

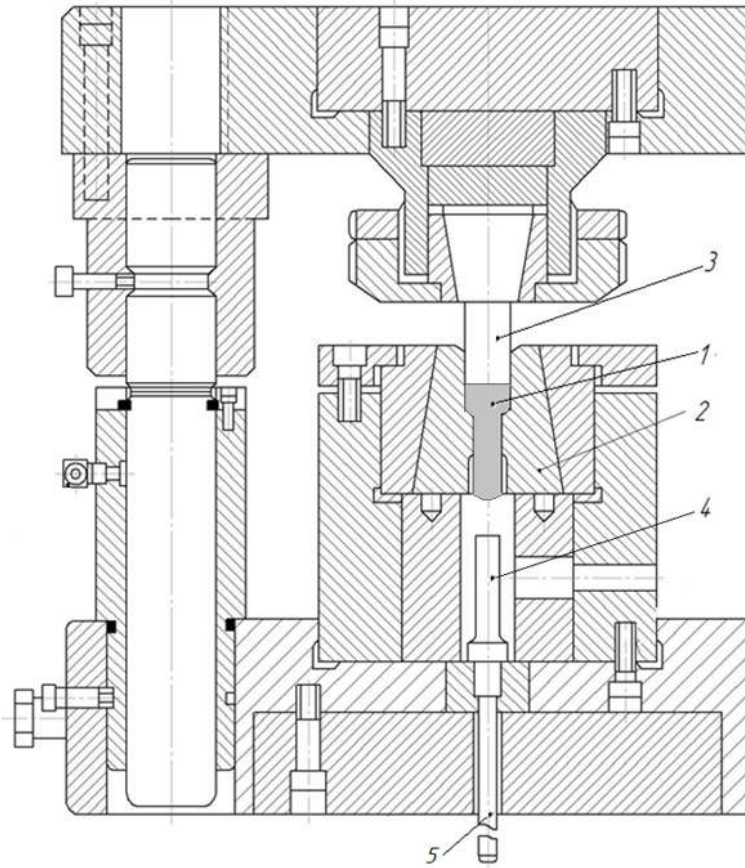


Рисунок 3.41 – Штaмп для прямого видавлювання

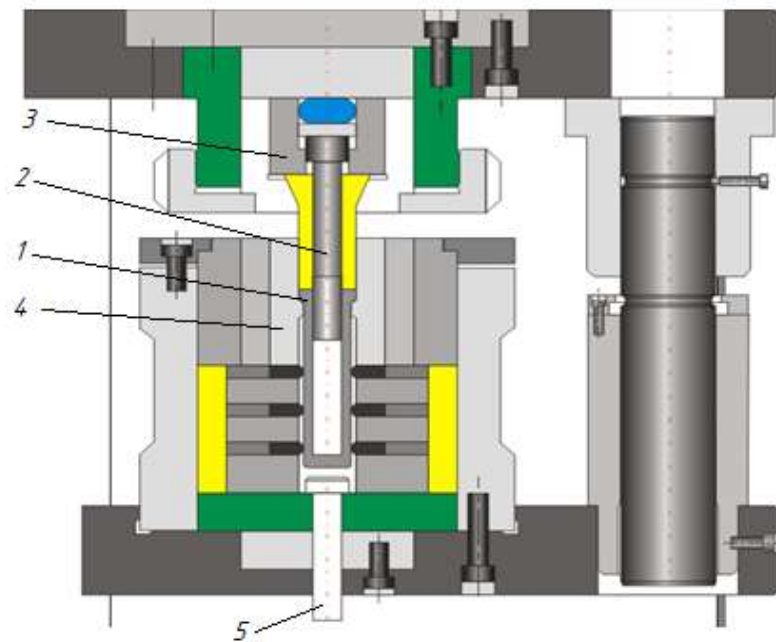


Рисунок 3.42 – Штaмп для прямого видавлювання на оправці: 1 – деталь; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – оправка; 5 – виштовхувач

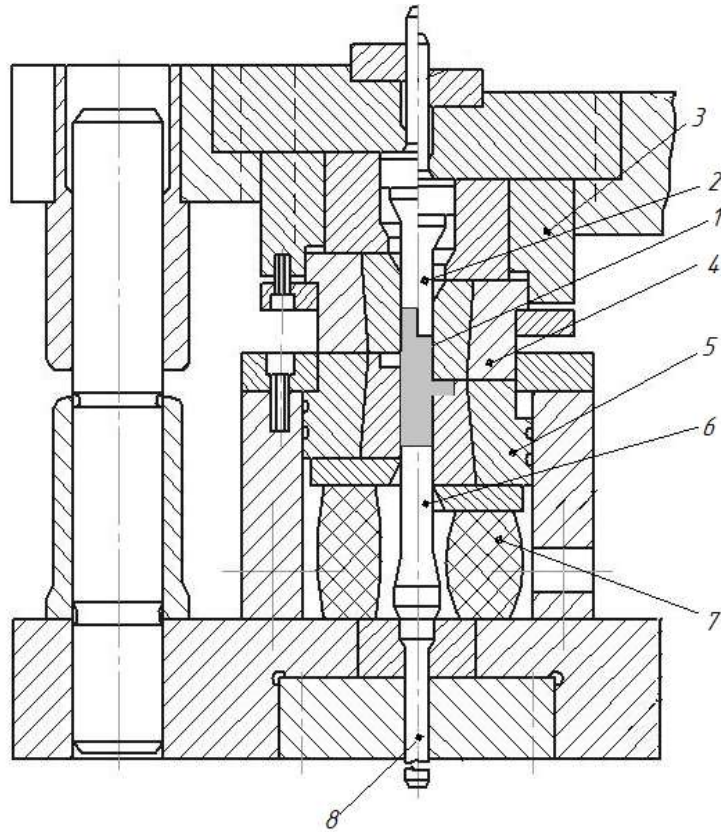
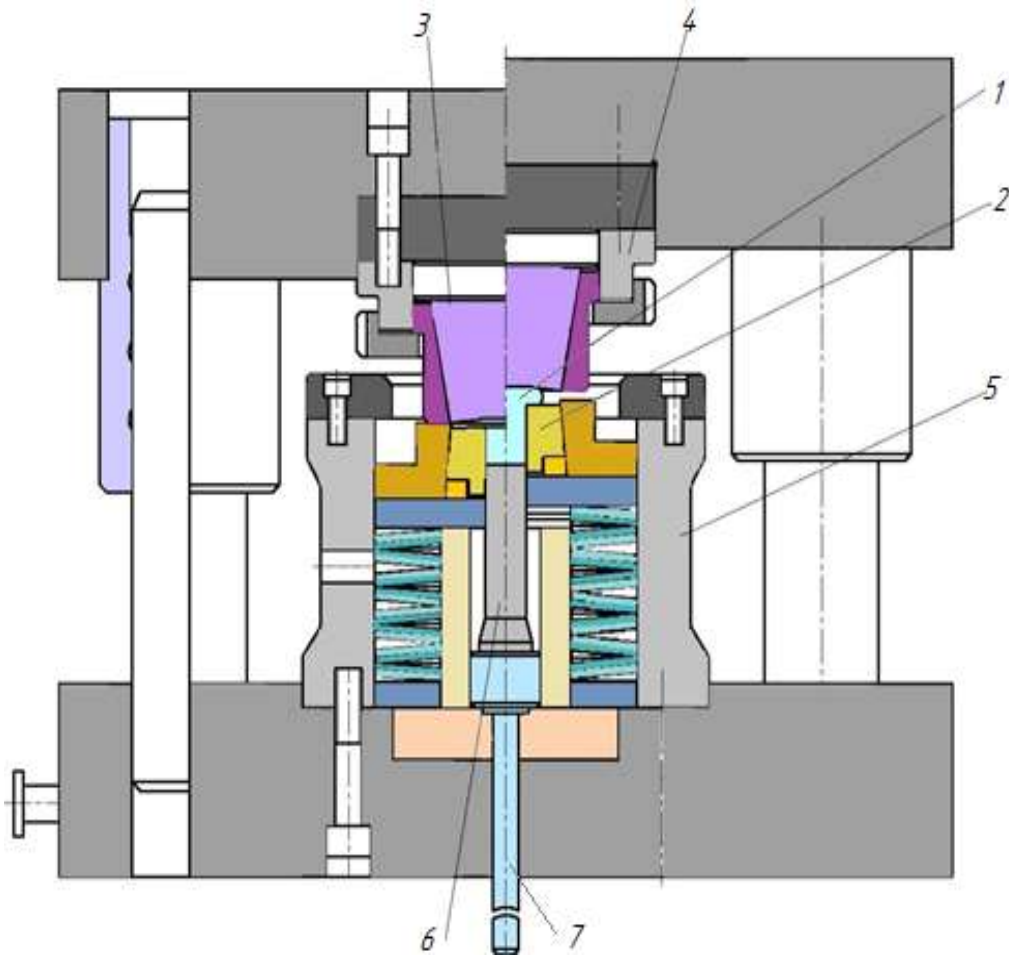


Рисунок 3.43 – Штамп для радіального видавлювання деталі з фланцем

Наведений на рис. 3.43 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 [1, 7]. 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.



*Рисунок 3.44 – Штaмп для радіального видавлювання з висадкою фланця:
 1 – деталь; 2 – матриця; 3 – опорний пуансон; 4 – пуансонотримач;
 5 – контейнер із тарілчастими пружинами; 6 – пуансон; 7 – штовхач*

Штaмп 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. 3.45, рис. 3.46) [1,40, 74]. Така конструкція дозволяє спрощувати виштовхування і виймання готового виробу зі штaмпу.

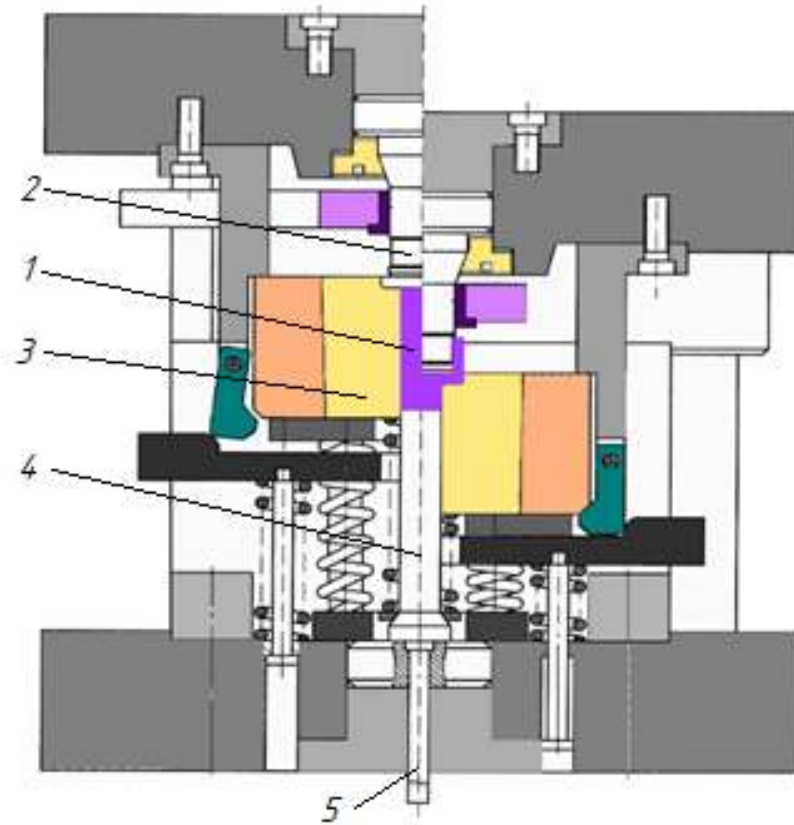


Рисунок 3.45 – Штамп для радіально-прямого видавлювання: 1 – деталь; 2 – опорний пуансон; 3 – матриця; 4 – пуансон; 5 – виштовхувач

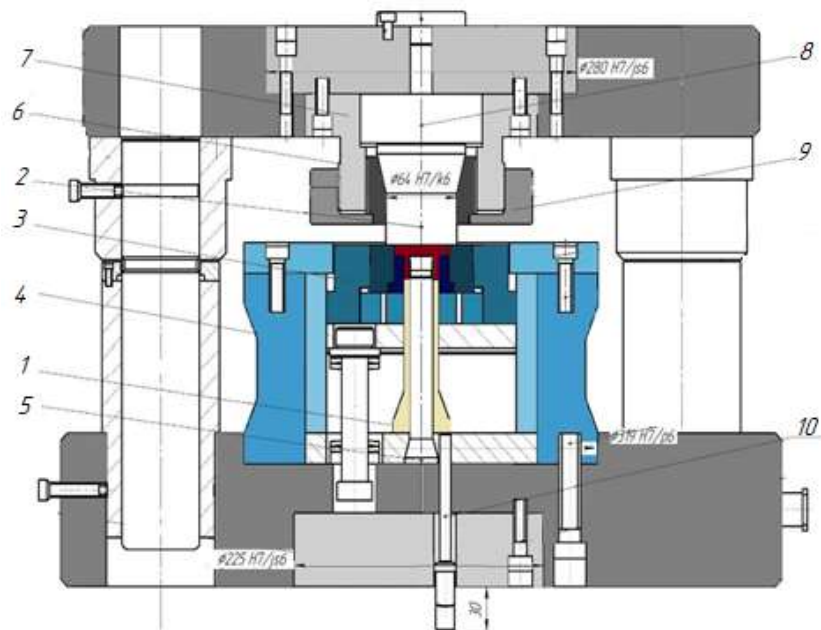


Рисунок 3.46 – Штамп для радіально-зворотного видавлювання

Штампи для калібрування заготовок перед зворотним видавлюванням способом радіального видавлювання також містять роз'ємні матриці (рис. 3.47)[7, 40]. 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. 3.47, а).

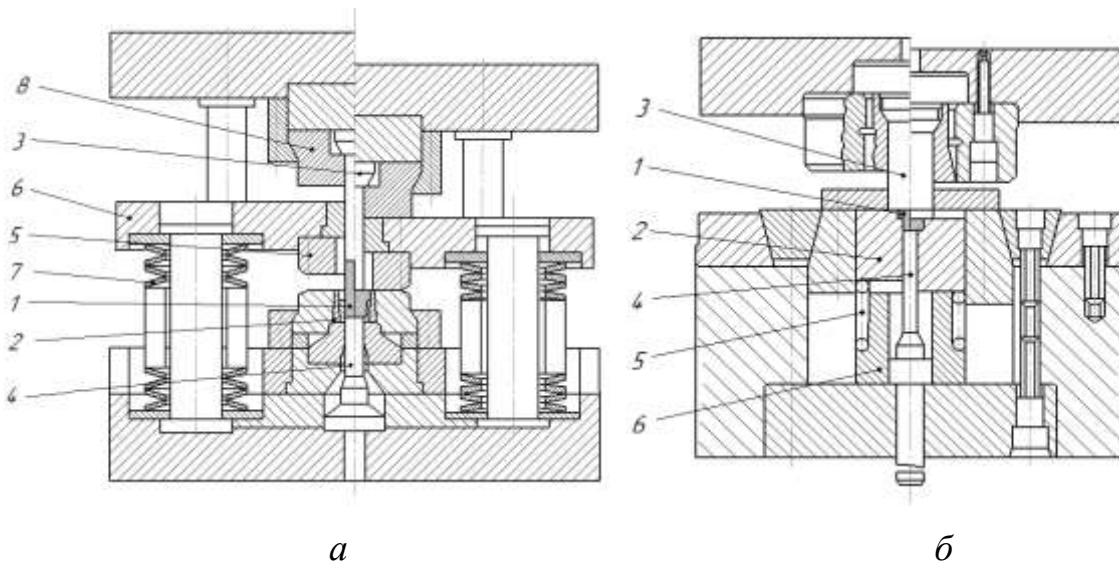


Рисунок 3.47 – Варіанти конструкцій штампів для калібрування різних заготовок способом радіального видавлювання

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. 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. 3,47, 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

заготовки 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.

3.6.2 Особливості конструкцій штампів з роз'ємними матрицями

Конструювання штампового оснащення для поперечного видавлювання має свої особливості[4, 39, 40]. 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, 7, 40, 39].

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[1, 39, 40].

Застосування пакетів пружин в якості буферів призводить до лінійного і надлишкового росту сили замикання Q по ходу процесу (крива 2 на рис. 3.48, д). Затиснення напівматриць з постійною або регульованою силою (криві 1, 3) можливе при використанні пневмо- або гідроциліндрів (див. рис. 3.48, б)[1, 39, 75]. З точки зору зниження енерговитрат більш кращі схеми з механічними замикаючими елементами (див. рис. 3.48, 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 затиснення при видавлюванні і швидкого та легкого розкриття матриці при зворотному ході преса.

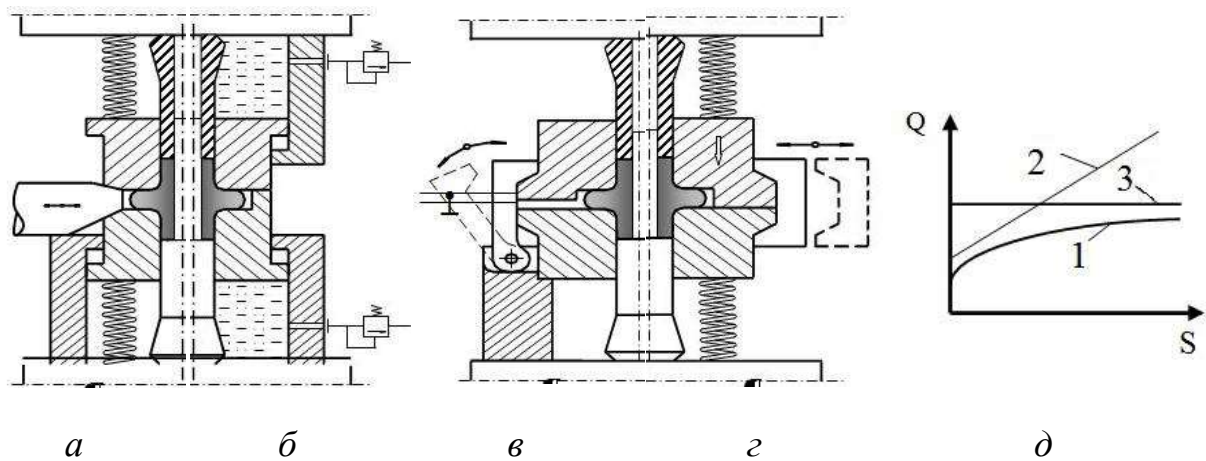


Рисунок 3.48 – Схеми штампів із замикаючими елементами і графік змінення сил замикання

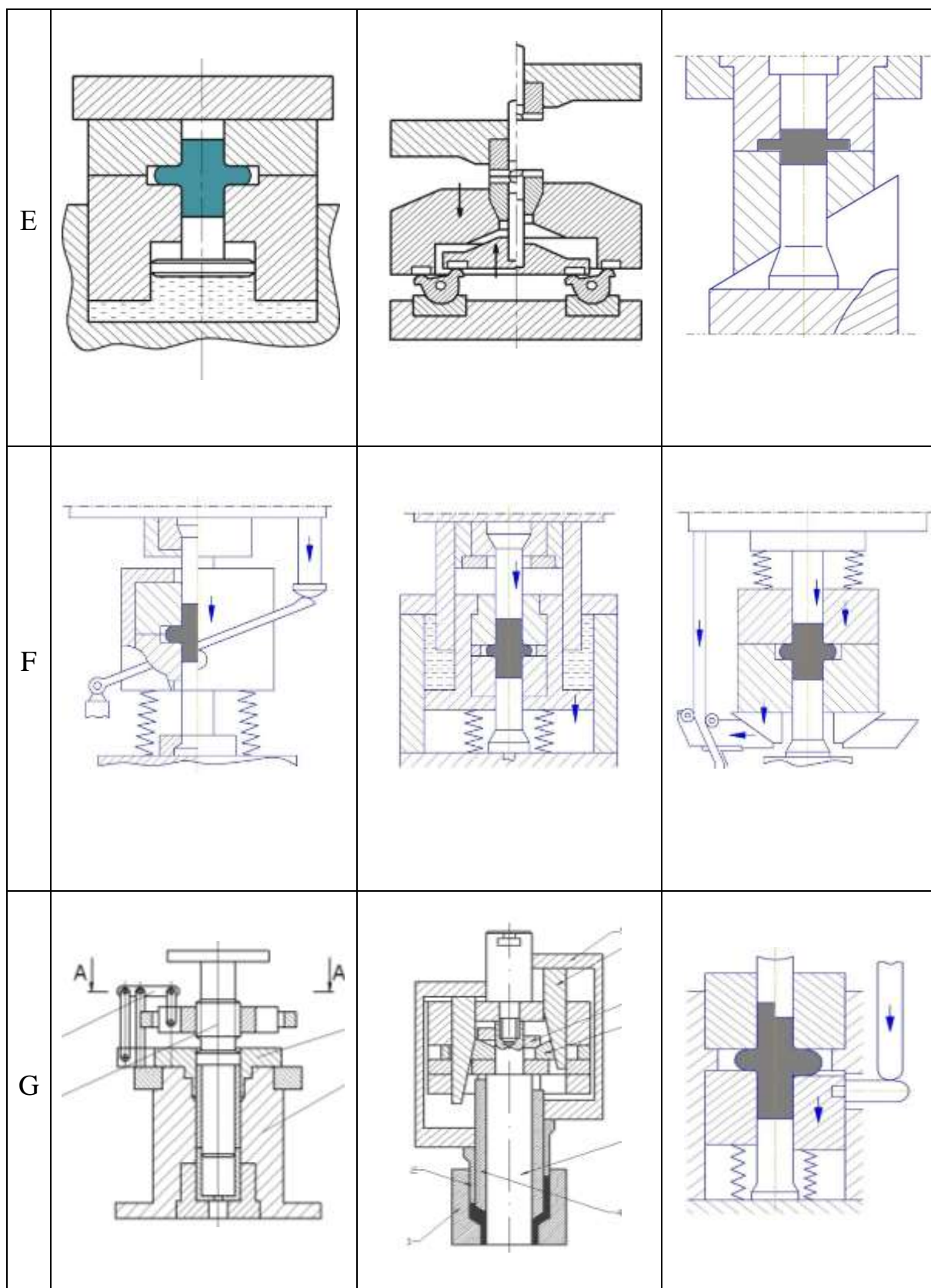
Огляд сучасних підходів до проектування штампів з роз'ємними матрицями представлений в роботах [40, 75] і в оглядовій роботі [39], яка виконана в ДДМА. Деякі конструкції штампів, які детально розглянуті в цих роботах, наведені в табл. 3.2 і пояснені без посилань на конкретні патенти і авторів схем штампів.

Найпростіші компоновальні схеми А1 і А2 містять підпружинену до опорних частин штампа напівматрицю [7, 75]. Передача сил затиснення матриці на повзун преса викликає значне (в 1,5–2 рази) збільшення енерговитрат, необхідних для пластичного деформування [75]. На зниження сил розкриття матриць спрямовані конструкції штампів, забезпечені різьбовими самогальмуючими елементами.

Цій меті слугує і штамп (див. табл. 3.2, схема А3), у якому пружна деформація протипуансона і сили тертя перешкоджають розкриттю матриці радіального видавлювання.

Таблиця 3.2 – Принципові схеми штампів с роз'ємними матрицями

	1	2	3
A			
B			
C			
D			



Штампи, у 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 штамповому блоці без їх передачі на повзун преса[39, 75].

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 механізму, який розроблений у ДДМА (схема С3) [40].

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 роликком 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 замикаються в штамповому блоці, тобто не передаються на повзун преса. До недоліків важільних і клинових механізмів слід віднести складність розмикання замикаючих пристроїв, можливість утворення на торцевій частині задирки, яка може привести до задирок на робочих поверхнях пуансонів і їх заклинювання.

У схемах групи E 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 [40].

В ДДМА запропоновані конструкції штампів з роз'ємними матрицями для виготовлення порожнистих і стрижневих деталей з потовщеннями або фланцем на зовнішній поверхні [40]. Особливістю схем штампів групи F є можливість реалізації нового способу поперечного видавлювання з двосторонньою подачею в рухомій матриці [39]. 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 [39, 40] 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» [40]. У роботах [4, 39, 40, 74, 75] 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 [11, 75].

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 [40].

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 [8, 13].

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, умов роботи якого, як правило, ускладнюються пропорційно зростанню складності конструкції і вимог до якості і точності одержуваних виробів [2, 57].

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 [11]. Для виробництва поковок зі складною зовнішньою поверхнею зі сплавів кольорових металів ефективні багатоплунжерні преси. Перспективними є преси подвійної дії [11], а також спеціалізовані преси для видавлювання в режимі активного тертя [57]. 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 багатотлунжерних вихідних заготовок на пресах з цанговими затискними вузлами. Відзначено, що спроби реалізувати складні схеми деформування без створення спеціалізованого обладнання можуть бути невдалими [13], 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 [11, 13, 57].

Оригінальні схеми штампів і установок для точного штампування видавлюванням деталей з фланцями запатентовані в США, Німеччині, Японії, Китаю, Росії [4, 11, 39]. Інтелектуальні машини у вигляді керувальних та оброблювальних центрів можуть знайти застосування як в масовому, так і в серійному і дрібносерійному виробництвах [15, 26].

3.6.3 Відрізні штампи

Відрізні штампи широко застосовуються в виробництві для розрізання сортового прокату на точні заготовки для видавлювання прецизійних деталей.

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° для встановлення нової ділянки ріжучої кромки (рис. 3.49).

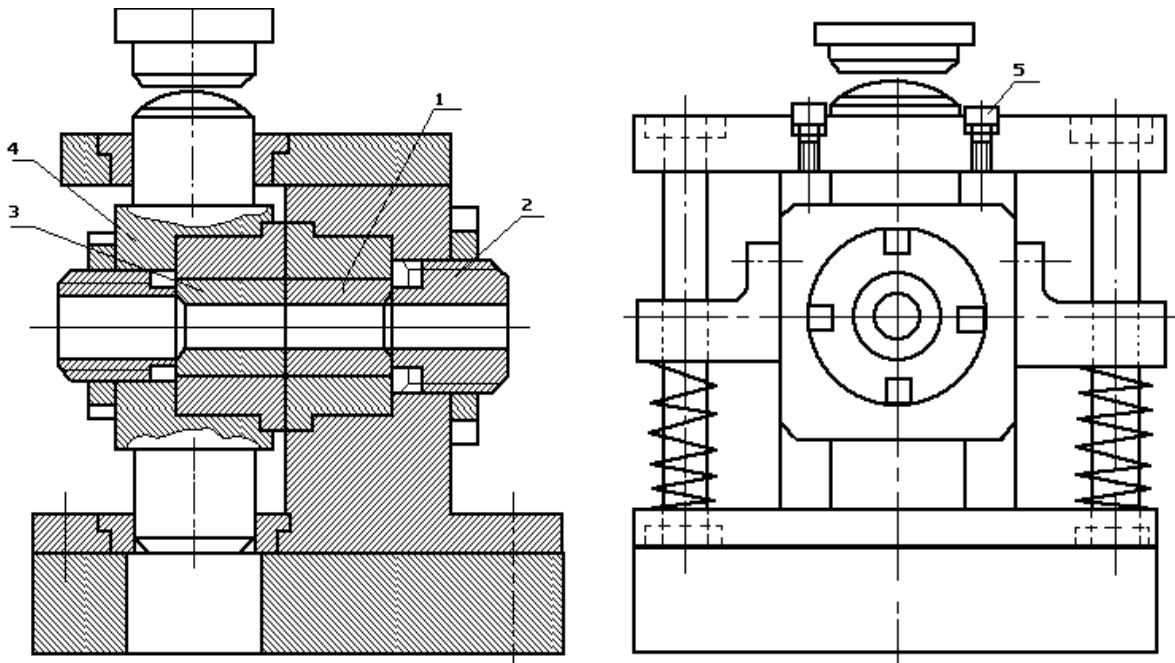


Рисунок 3.49 – Штмп для неповністю закритого відрізання прутка

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 відрізанні каліброваних прутків задовільна точність забезпечується при відносній довжині $l/D \geq 1,0$.

З усіх штамів з активним поперечним затисканням найбільш широко поширені штамп з диференціальним 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. 3.50 [4, 79].

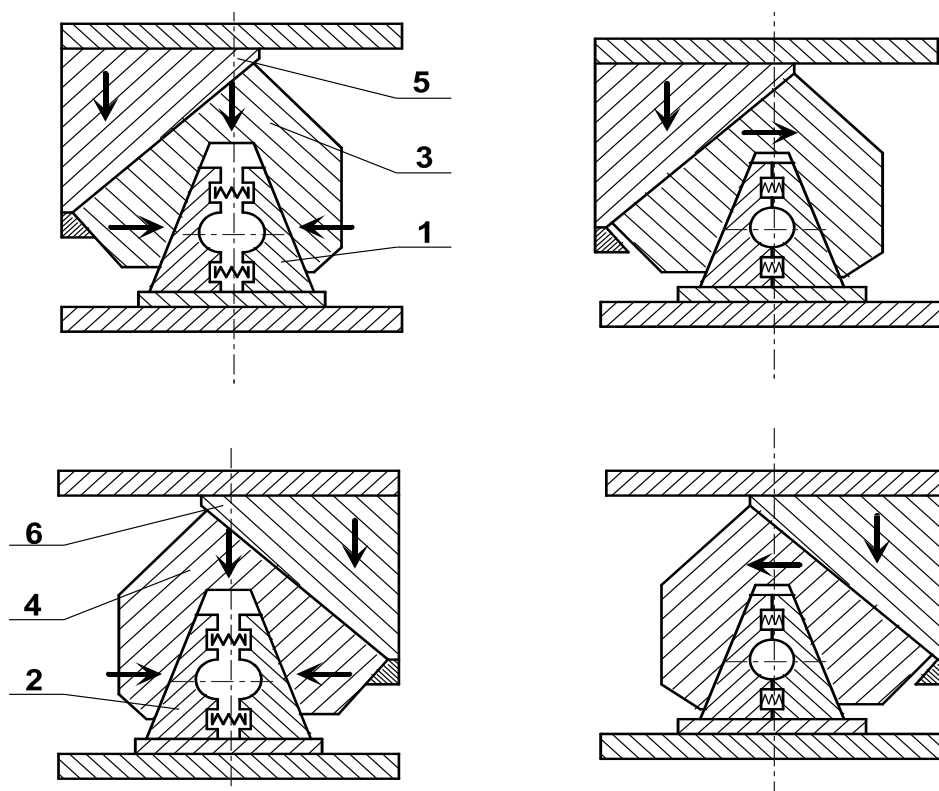


Рисунок 3.50 – Штамп для відрізання прутка з диференціальним затисканням

Штамп 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. 3.50, верхній і нижній рядок).

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 відрізка заготовки в умовах постійного затискання.

3.6.4 Пристрої для дослідження фактору контактного тертя

Штампи для точного об'ємного штампування стали вдалим пристроями для дослідження умов пластичного деформування завдяки компактності, різноманітності схем деформування і можливості регулювання силових та кінематичних впливів на заготовку, що деформується.

Умови контактного тертя заготовки з інструментом є одним з важливих факторів, який необхідно проаналізувати. Знання умов контактної тертя необхідне для правильного розрахунку та вибору технологічних варіантів процесів деформування, для оцінки властивостей технологічних масил. Від достовірного визначення та завдання граничних умов на контактних поверхнях значною мірою залежить точність результатів теоретичного аналізу режимів процесів, у тому числі із застосуванням МСЕ.

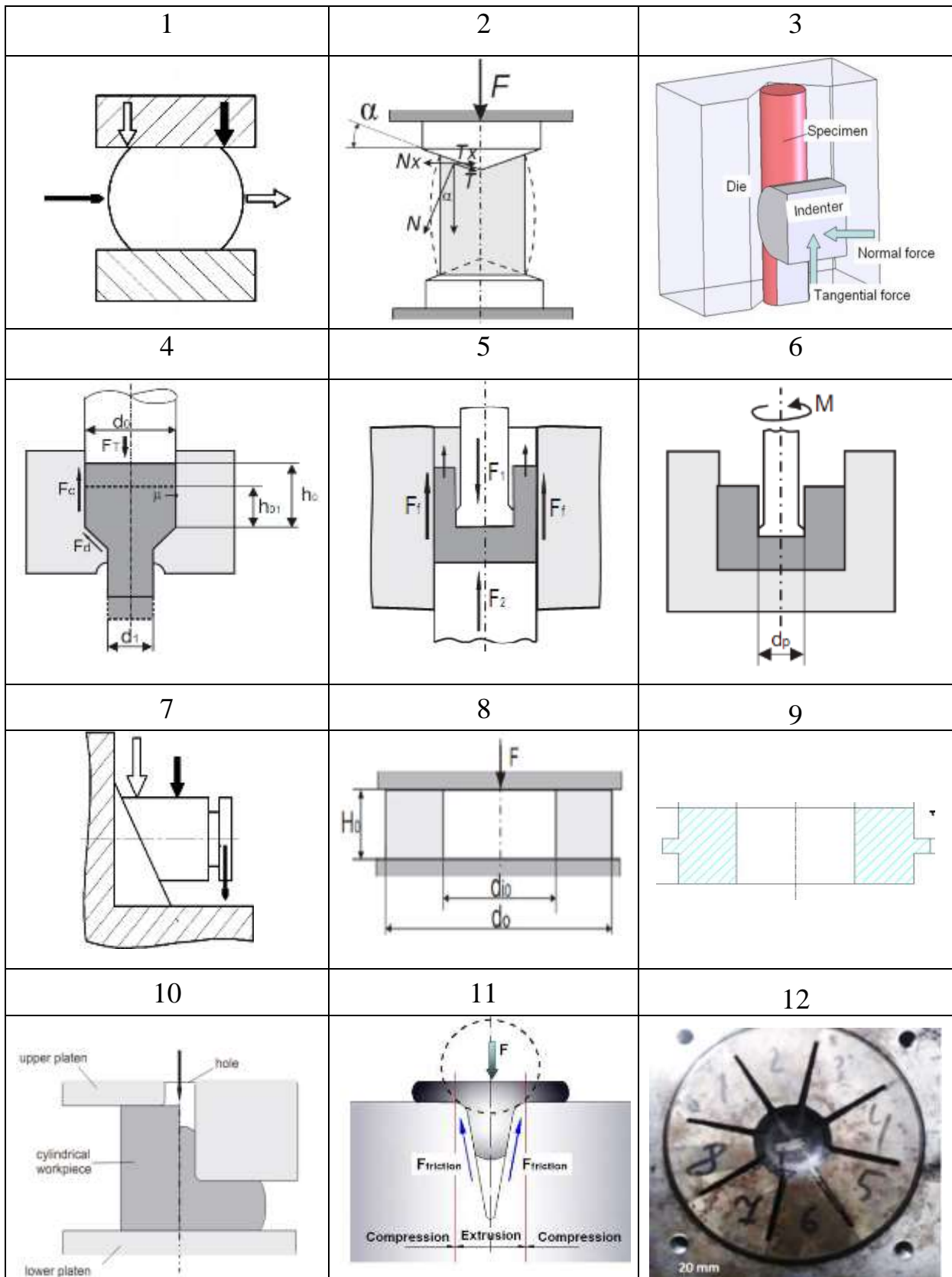
Є цікавою й та обставина, що експериментальна робота з формулювання умов тертя відстає від створення методів вирішення крайових задач теорії ОМТ [4]. Слід зазначити також, що, незважаючи на складність визначення умов контактної тертя, використання тертя у технологічних цілях стало одним із ефективних напрямів інтенсифікації процесів ТОШ [2, 3, 4]. На підставі загального огляду пристроїв та методів вивчення умов контактної пластичної тертя, визначення сил і коефіцієнтів тертя,

наведених у роботі ДДМА [42], а також у роботах [2, 4, 8, 76, 77], методи дослідження контактного тертя можна поділити за принципом дії та за кінцевим результатом на кілька характерних груп.

Група 1 включає найбільш прості непрямі методи оцінки умов контактної взаємодії металу, що деформується, та інструменту. Якісна оцінка умов на контакті виконується за допомогою визначення сил деформування або виштовхування, співставлення показників відхилення форми деталей (рис. 3.51, схема 1), зміни ділильних сіток, твердості, макроструктури або шорсткості поверхні. Широке застосування знайшов метод осадки циліндричних зразків з конічними виточками бойками з конічними виступами (рис. 3.51, схема 2). Варіюючи кут виступів, встановлюють випадок осадки без утворення діжки.

Методи, що становлять групу 2, можна віднести до найдавніших і добре відомих. Вони виділені за характерною ознакою – попереднього встановлення енергосилових параметрів (зусиль або тиску деформування) досліджуваного процесу (осадка, видавлювання, волочіння). Припускаючи справедливою наближену розрахункову формулу зусиль деформування, перетворюють та вирішують її щодо констант тертя. Так сили контактного тертя знаходять шляхом вимірювання зусилля деформування та використання умов рівноважного стану елемента. Серед нових робіт можна виділити методи, що ґрунтуються на використанні силових параметрів процесів видавлювання [42]. Для процесу прямого видавлювання у конічній матриці на основі теорії пластичності встановлено кількісні кореляції між навантаженням, коефіцієнтом тертя, межею плину матеріалу заготовки та розроблено процедуру тестування параметрів тертя (рис. 3.51, схема 4).

У методі оцінки значення коефіцієнта тертя при деформуванні способом зворотного видавлювання в якості міри калібрування коефіцієнта тертя використовуються силові параметри, що залежать від товщини дна стакану, що видавлюється (рис. 3.51, схема 5).



*Рисунок 3.51 – Пристрої та методи тестування умов
контактного тертя*

На процесі зворотного видавлювання заготовки, що обертається, заснований тест, що моделює тертя при холодному деформуванні (рис. 3.51, схема 6). В аналітичній моделі напруження тертя визначається за вимірним моментом, що крутить, у поєднанні з аналізом методом скінчених елементів швидкості ковзання металу заготовки пуансоном. Дослідження умов тертя при осадці-ковзанні або стисканні та зсуву (схеми 3 і 7) запропоновано у роботах [76, 77].

Методам групи 2 властиве обмеження, пов'язане з припущеннями, що приймаються під час вирішення задач про сили деформування. Визначення середніх коефіцієнтів тертя з експериментальних даних силових параметрів має недоліки внаслідок гіпотетичного характеру теоретичних рішень, що при цьому використовуються.

Непрямі методи визначення констант тертя, включені до групи 3, засновано на експериментальному визначенні деяких кінематичних або деформаційних параметрів процесів деформування та використання залежностей між цими параметрами та константами тертя. Використовуються різні експериментальні методи деформування зразків різної конфігурації, включаючи, серед іншого, випробування за наступними схемами: стискання кілець, контурна осадка, видавлювання порожнистих деталей, комбіноване видавлювання, деформування заготовок Т-подібної форми [42, 77].

Випробування на стискання кільця повсюдно визнано методом, що дозволяє легко і надійно визначити коефіцієнт тертя у процесі пластичної деформації (див. рис. 3.51, схема 8). Його методологія полягає в застосуванні геометричних змін діаметрів кільця [76]. У розвиток методу та з метою усунення помилок у результатах оцінки тертя внаслідок нестабільної зміни діаметральних розмірів у роботі [77] наведено спосіб деформування кільця з бобишкою на зовнішньому ободі (схема 9).

У якості альтернативи випробуванню на стискання кільця і підвищення рівня робочих тисків при випробуванні у роботі [78] запропоновано новий метод випробування відкритого зворотного видавлювання, тобто

за схемою контурної осадки диска (схема 10). При цьому для отримання калібрувальних кривих тертя в умовах великих деформацій залучено скінченно-елементну модель. У цьому випробуванні, як і у випробуванні на стискання кілець, торці циліндричного зразка контактують з інструментом в умовах, що відрізняються від умов на циліндричних поверхнях. Висота відростка, що видавлюється, не завжди монотонно зменшується з погіршенням умов тертя.

У роботі [76] для отримання характеристик тертя використано декілька експериментальних методів визначення коефіцієнта тертя при холодній деформації. Серед них найбільш помітними є випробування на стискання кілець, пряме видавлювання, видавлювання подвійного стакану, випробування на висадку-ковзання та випробування на контурну осадку. При цьому кількісні показники для оцінки умов тертя при холодному штампуванні встановлено числовим моделюванням.

Метод видавлювання T-образного зразка (схеми 11 і 12) [77] вважається універсальним методом дослідження та оцінки контактного тертя, що враховує особливості течії матеріалу на контактних поверхнях з різною інтенсивністю плинності металу. Відносний обсяг металу, видавленого в V-подібну канавку, використано як критерій моделювання умов тертя. Параметричне дослідження цього методу, проведене методом скінчених елементів, показує, що на результати експериментів також впливають геометричні параметри інструментів: слід вибирати певний кутовий радіус і кут канавки в матриці.

Нові методи випробувань на тертя, основані на використанні штампів для комбінованого видавлювання, запропоновано для оцінки характеристик тертя у важко навантажених операціях обробки металів тиском. Вони відрізняються тим, що штампуються деталі різної форми: двосторонній стакан, стакан із зовнішнім осьовим відростком, стакан з внутрішнім відростком, двосторонній стакан з нижньою конічною порожниною або з конічним відростком [76] (див. рис. 3.52). Калібрувальні криві, що описують зв'язок між

коефіцієнтом тертя та зміною розмірів деталей по ходу процесу, розраховуються як правило на основі аналізу течії матеріалу МСЕ.

Однак, ряд дослідників вказують на те, що умови навантаження та поверхневого контакту при видавлюванні двосторонніх стаканів можуть бути непорівнянні з умовами, характерними для реальних процесів холодного штампування. Точності визначення показників тертя при комбінованому видавлюванні заважають застійні зони і для отримання стабільних результатів необхідно оптимізувати геометрію інструменту. Крім того, результати експериментальних досліджень коригуються за допомогою моделей МСЕ.

До групи 4 включено методи дослідження розподілу питомих сил тертя контактної поверхні інструменту за допомогою силовимірювальних штифтів (точкових месдоз). Перевага цих методів полягає у прямому визначенні безпосередньо з експерименту поля напружень тертя на контактній поверхні. Однак вимірювальні пристрої відрізняються значною складністю та трудомісткістю налагодження. Аналіз методів, що входять до групи 4, докладно викладено у роботі [79].

До групи 5 включено методи вимірювання сил контактного тертя безпосередньо у процесі пластичного деформування. Ця група методів дослідження тертя є досить ємною. Вона містить різні методи і пристрої, які можна класифікувати за принципом дії, конструктивним виконанням та процесом деформування, що реалізується. Вимірювальні пристрої, що входять до групи підрозділяються на дві підгрупи: для осадки і для видавлювання (пресування)[42, 76].

Основним недоліком методів та вимірювачів підгрупи осадки є створення кінематичних та силових умов на контактній поверхні, неминуче при використанні розрізного інструменту або штучного відносного ковзання зразка та інструменту. Відкрита осадка, до того ж, не дозволяє досягти значень тисків, що помітно перевищують напруження плинину і є характерними для реальних умов процесів об'ємного штампування та видавлювання.

Вимірювання рівнодіючих (інтегральних) сил тертя на частини або на всій контактній поверхні, при можливості їх виконання, дозволяють порівняно з іншими розглянутими вище методами отримувати ціннішу інформацію [4, 42]. Однак, ряд дослідників вказують на безперспективність використання інструментів, заснованих на вимірюваннях переміщень, на тій підставі, що вимірювальні елементи інструменту, які фіксують сили тертя, що діють на його рухому частину, взагалі не можуть реєструвати сили тертя за наявності зони прилипання. Це здається справедливим, наприклад, при розгляді процесу зворотного видавлювання стакану [76], де нерухома зона під осередком деформації перешкоджає руху матриці і в бік металу, що видавлюється.

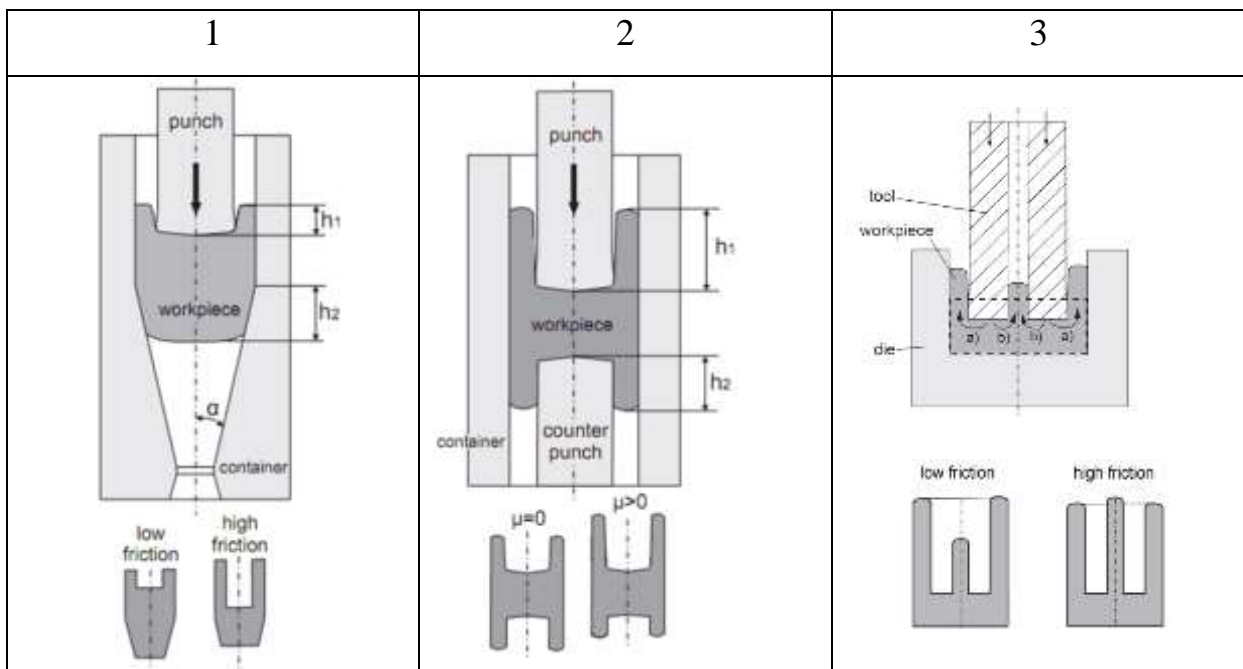


Рисунок 3.52 – Методи тестування умов контактної тертя при видавлюванні порожнистих виробів

Викладене підтверджує актуальність розгляду та вивчення можливостей вимірювання сил контактної тертя безпосередньо у процесах об'ємного штампування. Від достовірного визначення та завдання граничних умов на контактних поверхнях значною мірою залежить точність результатів теоретичного аналізу силових та деформаційних режимів процесів

формозміни, у тому числі на основі МСЕ. При дослідженні процесів видавлювання з двома або кількома ступенями свободи течії металу невизначеність умов тертя знижує точність рішення і в багатьох випадках призводить до отримання неадекватної математичної моделі, не дивлячись навіть на високий рівень застосовуваного методу (МСЕ, МВО та ін.) [2, 15, 145].

При поперечному видавлюванні сили тертя в контейнері є спрямованими величинами і можуть бути зареєстровані при ковзанні металу, що переміщується в зону інтенсивної деформації. Автори робіт [4, 42] показали на прикладі радіального видавлювання принципову можливість реєстрації інтегральних сил тертя у вертикальній порожнині матриці, чому значною мірою допомагають сприятливі особливості цього процесу. У зв'язку з цим досить перспективним є забезпечення можливості безпосереднього вимірювання сил пластичного контактного тертя в процесах пластичного деформування за допомогою пластотрібометрів, що розробляються в ДДМА, і уточнення на цій основі математичних моделей процесів штампування. Конструкції деяких пристроїв для вимірювання сил тертя наведено на рис. 3.53.

Позитивною особливістю процесу поперечного радіального видавлювання є можливість повного усунення зусиль, що спрямовані на розкриття поперечної порожнини за рахунок природного потоншення фланця, що видавлюється, і за умови відсутності закруглень перехідних кромek матриці – контейнера [4, 42]. Це сприяє підвищенню точності вимірювання сил тертя між металом заготовки 6 і вертикальною поверхнею порожнини матриці-контейнера 3 (рис. 3.53, схеми 1 і 3). Для поперечного видавлювання характерні більш рівномірні умови на контактній поверхні оправки і матриці контейнера [13]. Збільшення загального ходу пуансона при цьому можна досягти поєднанням схем радіального та прямого видавлювання.

Вимірювання сил тертя на нерухомій оправці, що використовується для розрахунку коефіцієнта тертя при прямому видавлюванні та волочінні, можливе

за помірної розбіжності між значеннями швидкостей ковзання на межах осередку деформації [4, 42]. Більш рівномірні умови на контактній поверхні оправки 2 характерні для видавлювання втулок з фланцем (рис. 3.53, схема 2). Підбір кута нахилу (20° – 30°) нижньої напівматриці 4, що утворює поперечну кругову порожнину, дозволяє підвищити точність вимірювання сил тертя на поверхні оправки 2. Профілювання оправки або матриці у пристрої радіального видавлювання доцільно для підвищення ступеня деформації металу у частині заготовки, що є ініціатором тертя. Якщо вимірник сил тертя розміщений під оправкою, то профілюється поверхня матриці, і навпаки (див. рис. 3.53, схема 3) [36].

Складність розподілу зусиль (тисків) деформування та тертя у пристрої видавлювання може бути подолана шляхом виділення вимірювальної частини пристрою в окремий блок з контейнером 7 (див. рис. 3.53, схема 4), розташований співвісно основній матриці 3. При ідентичному розподілі нормальних тисків на контактних поверхнях матриці 3 і вимірювальної частини (контейнера) 7, однакових швидкостях ковзання, стану робочих поверхонь і жорсткості інструменту досягається надійне і точне вимірювання сил тертя. Обмеження пов'язане з відсутністю оновлення або розширення поверхні зразків 8, що переміщуються у замкнутому контейнері.

Разом з тим при видавлюванні в зонах інтенсивної пластичної деформації з високим ступенем розширення поверхні значна нерівномірність деформації і, відповідно, різниця в швидкостях ковзання металу вздовж контакту. Зони відсутності або незначного відносного усунення (гальмування, застою) не дозволяють передати силу тертя та спотворюють результати вимірювань.

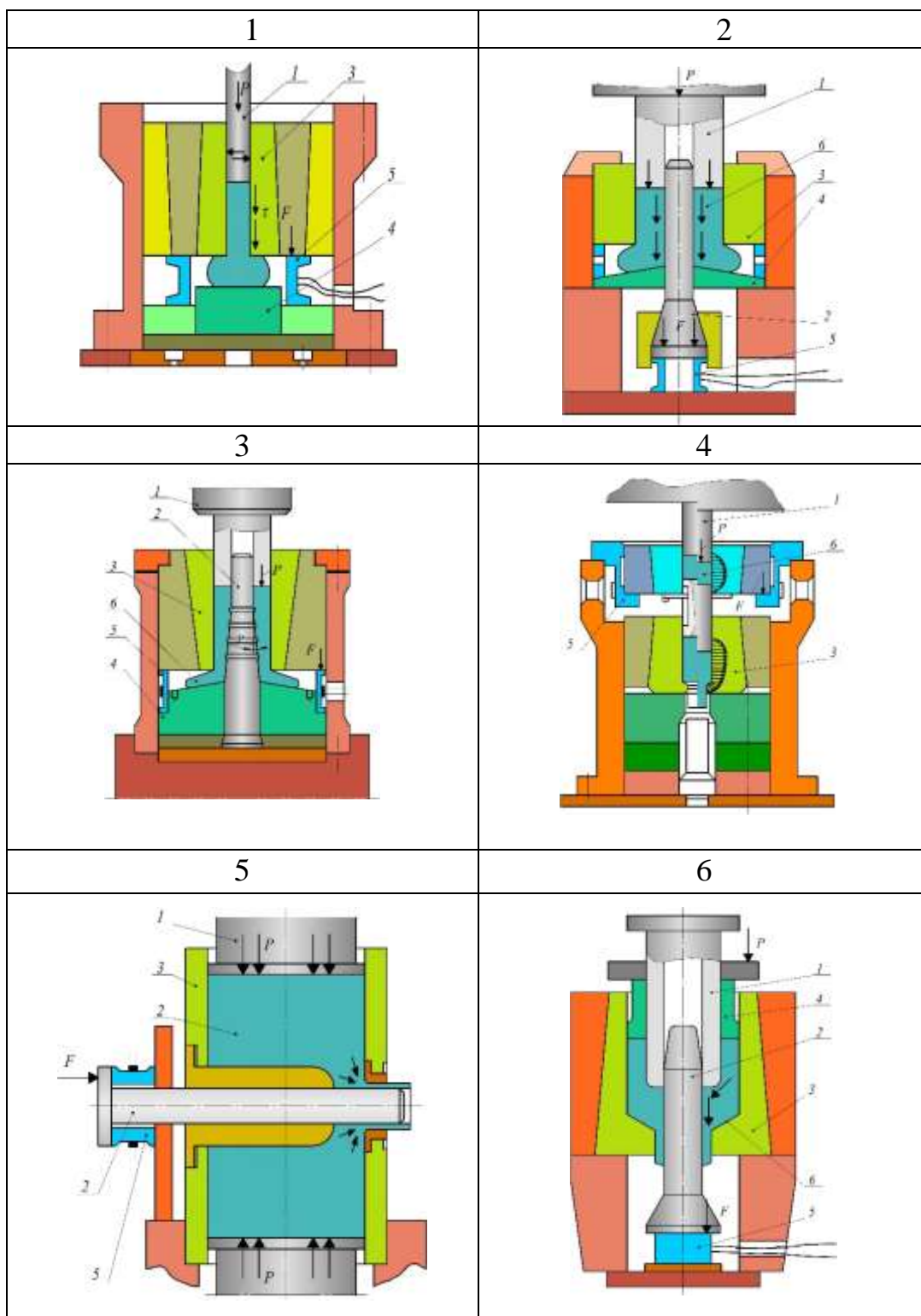


Рисунок 3.53 – Схеми пристроїв для вимірювання сил контактної тертя:
 1 – пуансон; 2 – оправка; 3 – матриця; 4 – напівматриця (втулка в схемі б);
 5 – месдоза; 6 – заготовка; 7 – контейнер; 8 – зразок

Оцінка можливості появи зон застою, гальмування та визначення їх розмірів є найважливішою умовою правильного аналізу сил тертя [2, 10, 42]. На підставі такої оцінки розроблено пристрої для вимірювання сил тертя, в яких передбачено відділення застійної зони тіла, що деформується, від веденого тіла – деформованої заготовки 3 за допомогою технологічної втулки 4 (рис. 3.53, схеми 5 і 6) [42]. Про ефективність такого відділення зони застою для підвищення точності вимірювання сил тертя на поверхні оправки у пристрої бокового видавлювання (див. схему 6) можна судити за аналогією даної схеми зі схемою накладання металевої оболонки на кабель, де використання втулки є обов'язковою умовою стабільного протікання процесу.

Рекомендована література [1–4, 7–10, 48–56, 76, 77].

4 ЛОКАЛЬНІ МЕТОДИ ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Торцева розкатка кільцевих деталей

У різних галузях промисловості використовують велику кількість деталей типу фланців. Номенклатура цих деталей дуже різноманітна і регламентується різними стандартами, як нашої країни, так іноземними. Виробництво фланцевих деталей здійснюється за різними технологіями, але вони не відрізняються високим коефіцієнтом використання металу (КВМ). Багато технологій виробництва фланців засновані на використанні технології гарячого штампування з подальшою додатковою механічною обробкою.

За останній час значний розвиток отримали методи локальної обробки металів тиском, такі як ротаційне штампування обкаткою, яке включає процеси сферорухомого штампування, валкового і термофрикційного видавлювання і торцевої розкатки (див. рис. 1.1) [3, 22, 25].

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

Технологія торцевої розкатки призначена для виготовлення осесиметричних деталей із пруткових або трубних заготовок [3, 12, 22]. Ця технологія є представником процесів з локальною деформацією металу, що обробляється. При цьому в контакті з деформуючим інструментом знаходиться тільки частина заготовки, що знижує площу контакту і величину контактного напруження, і, відповідно, необхідне зусилля деформування.

Найбільшого поширення набули процеси торцевої розкатки в гарячому стані. В цьому випадку пластичність металу вища, формоутворення

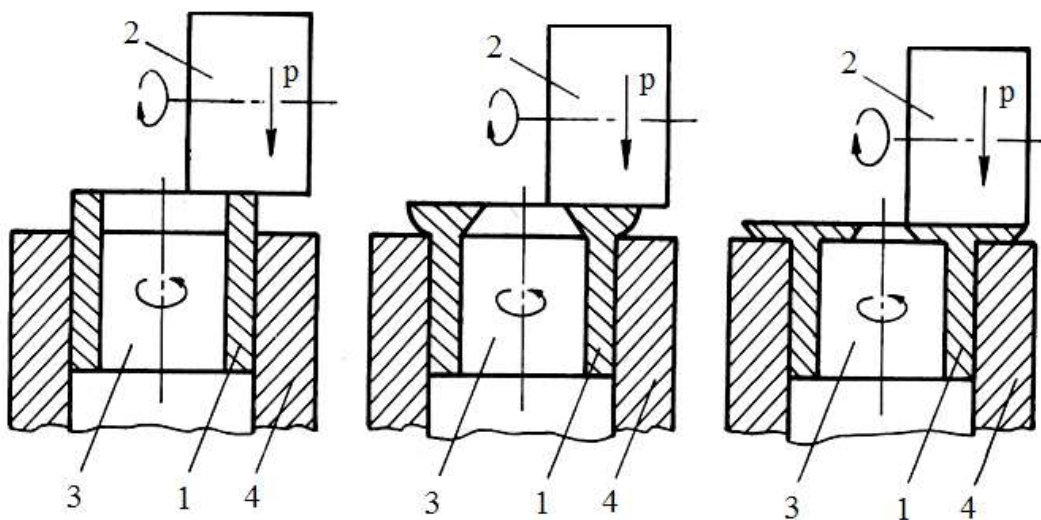
відбувається при малому технологічному зусиллі. Однак процеси гарячого деформування вимагають значних витрат на нагрівання, а деталі, що одержуються, покриті окалиною і вимагають подальшої механічної обробки. Тому застосування цих процесів менш ефективно у промисловості. Величезними перевагами володіє холодна торцева розкатка, що не вимагає нагрівання і характеризується високою точністю і гарною якістю поверхонь, що обробляються. Природно, що при холодній розкатці технологічне зусилля буде вищим, ніж при гарячій, а пластичність металу деформованого нижче, що пред'являє вищі вимоги до їх аналізу [22].

Процеси торцевої розкатки дозволяють формувати зовнішні, внутрішні і торцеві поверхні порожніх та суцільних металевих заготовок. Точність розмірів отримуваних деталей відповідає 8...11-му квалітетам, а шорсткість поверхонь $R_a = 5...0,63$ мкм. Висока точність обробки забезпечує зменшення витрати металу, а також зниження трудомісткості деталей. Низька вартість оснащення, незначний час підготовки виробництва, використання обладнання відносно не великої потужності при виготовленні великогабаритних деталей надають змоги застосовувати процеси торцевої розкатки і в дрібносерійному виробництві [22].

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

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

Принципова схема торцевої розкатки наведена на рис. 4.1. На торець кільцевої заготовки, що обертається, з силою P діє циліндричний валок, що вільно обертається. У результаті за кожен оберт заготовки буде відбуватися осадка заготовки, що виступає з матриці, на деяку одиницю обтиснення. Якщо течія металу, що деформується, в радіальному напрямку не обмежена, то через декілька обертів формується деталь Т-подібного перерізу. Величина одиничного обтиснення визначається необхідним ступенем деформації, а також механічними характеристиками матеріалу деталі і може змінюватися від 0,2 до 1,0 мм. Кінцеве оформлення деталі в більшості випадків відбувається за 10...30 обертів. Розмір зовнішнього бурта при цьому більше внутрішнього, тому що опір утворенню внутрішнього бурта більше, ніж опір утворенню зовнішнього.



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

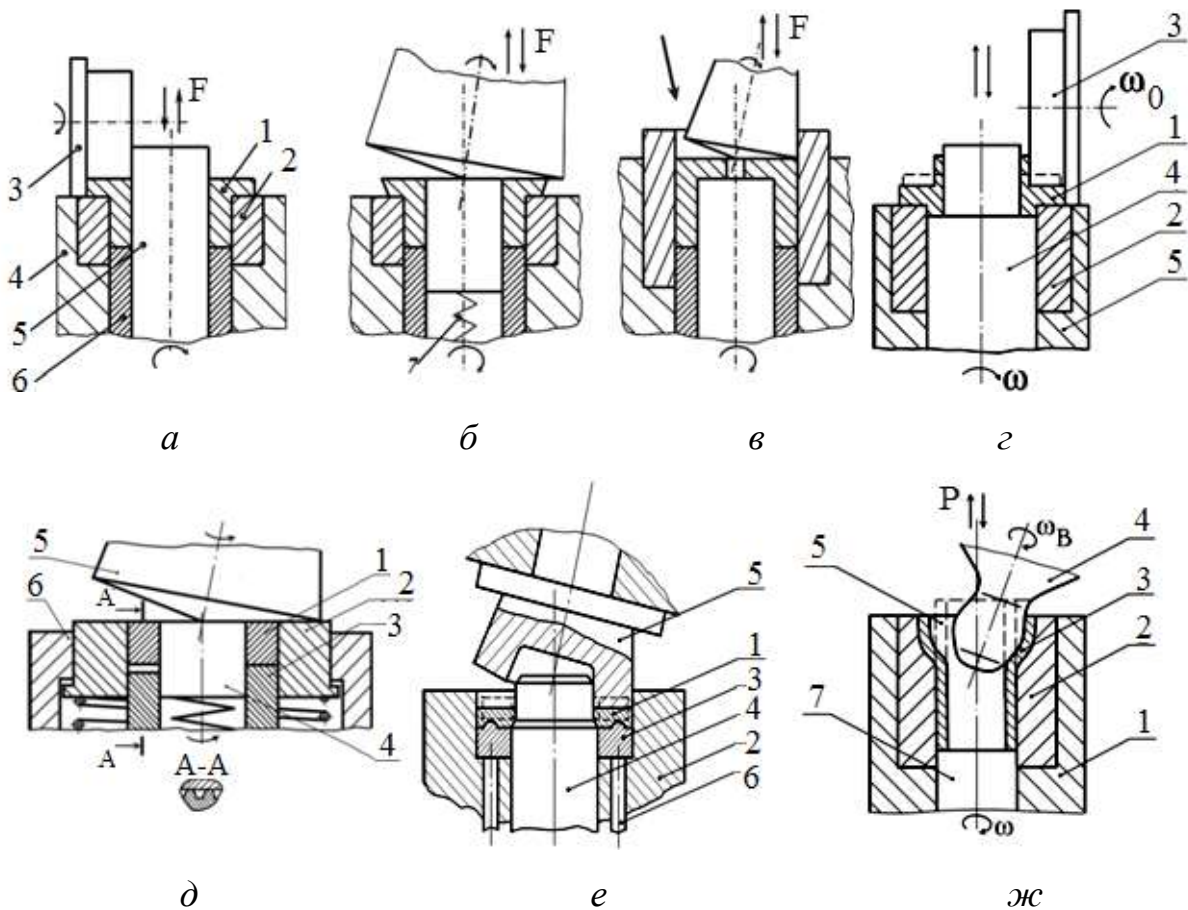
Рисунок 4.1 – Послідовність торцевої розкатки кільцевої деталі з буртом

Спосіб ротаційної локальної обробки, при якому деформування осесиметричної заготовки, що обертається, здійснюють валками, що поступально переміщуються, розташованими з торців заготовки, прийнято називати розкаткою (торцевим розвальцюванням).

На рис. 4.2 зображені схеми торцевої розкатки з використанням циліндричного і конічного розкочувальних валків.

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

У якості вихідних заготовок при торцевому розвальцюванні використовуються відрізки осесиметричного прокату, зварювально-штамповані, литі, спечені порошкові заготовки, а також заготовки, безвідходно відокремлені від смуги або листа.



1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – розкочувальний валок; 4 – шпindelь;
 5 – оправка; 6 – виштовхувач; а, б – висадка зовнішнього бурта; в – висадка
 внутрішнього бурта; г – висадка і зворотне видавлювання; д – пряме
 видавлювання зубчастої поверхні; е – осадка-калібрування;
 ж – роздача-калібрування

Рисунок 4.2 – Схеми торцевої розкатки циліндричними і конічними валками

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

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

Отримувані деталі – осесиметричні деталі типу тіл обертання, гладкі, з глухою порожниною, та ті, що мають розвинений фланець.

Можливості управління течією металу в процесах розкатки дуже обмежені. Різними видами застосовуваного інструменту (поперечний валок, валки розкатки з ребордою, оправки) вдається обмежувати течію металу в певних напрямках і після заповнення перенаправити метал у напрямку, де формування деталі ще не завершилося [3, 22; 80]. Така технологія вимагає значних зусиль, так як більша частина металу в кінцевій стадії формування деталі є жорсткою зоною з напруженим станом близьким до всебічного стиснення.

Ефективніше впливати на напрям руху металу, використовуючи зміну напрямку сил тертя, що діють на поверхні контакту заготовки, що розкатується, з деформуючим валком [22, 80].

Досягнути зміни напрямку сил тертя можна зміщуючи циліндричні валки відносно їх традиційного розташування. Так для операції отримання зовнішніх фланців відбортуванням потрібна течія металу назовні заготовки. Для спрямування сил тертя в необхідну сторону при відбортуванні зовнішніх фланців розкаткою циліндричні валки слід розташовувати з деяким зсувом відносно поперечної осі заготовки. Зміщення вершини конічного

валка суттєво змінює напрямок сил тертя на контактній поверхні та полегшує течію металу в радіальному напрямку. Рекомендовані значення зміщення розкатки конічного валка для реалізації стабільної відбортовки становлять $(0,1 \dots 0,4) \cdot R$ і залежать від співвідношення товщини і діаметра трубної заготовки, а також від її матеріалу.

Спосіб торцевої розкатки комбінованої з радіальним видавлюванням передбачає безперервну подачу металу заготовки в зону деформування [25, 80] (рис. 4.3). На схемі розкатки потовщених фланців з видавлюванням (рис. 4.3, а) на стадіях розкатки 0–2 використані позначення: ΔL – подача заготовки на один оборот заготовки; ΔL_t – сумарна подача. Фланець, розкатаний із трубної заготовки (матеріал AISI 316) мав параметри: діаметр 219,1 мм, товщину стінки – 7,8 мм, товщину фланця – 9,5 мм, ширину фланця – 31 мм (рис. 4.3, б).

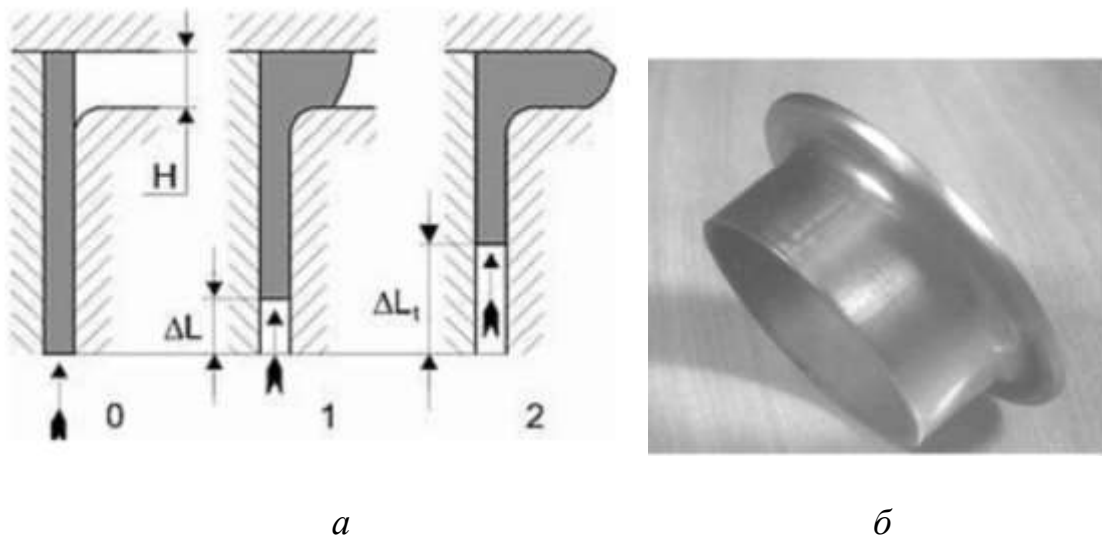


Рисунок 4.3 – Схема торцевої розкатки комбінованої з радіальним видавлюванням (а) для виготовлення деталей з потовщеним фланцем (б)

Способом можливе одержання потовщених фланців із порожнистих заготовок, яке може здійснюватися як конічним валком, так і циліндричними валками (рис. 4.4). Технологія особливо ефективна для виробництва фланців із труб, для з'єднання яких вони призначені.

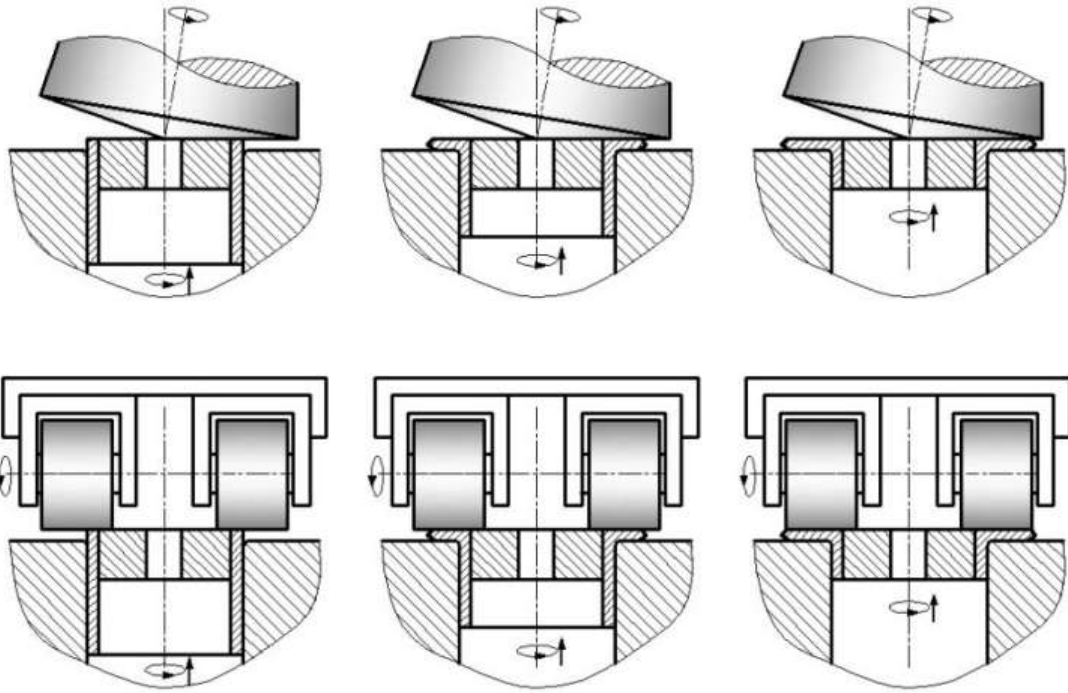


Рисунок 4.4 – Схеми комбінованої торцевої розкатки кільцевих деталей конічними і циліндричними валками

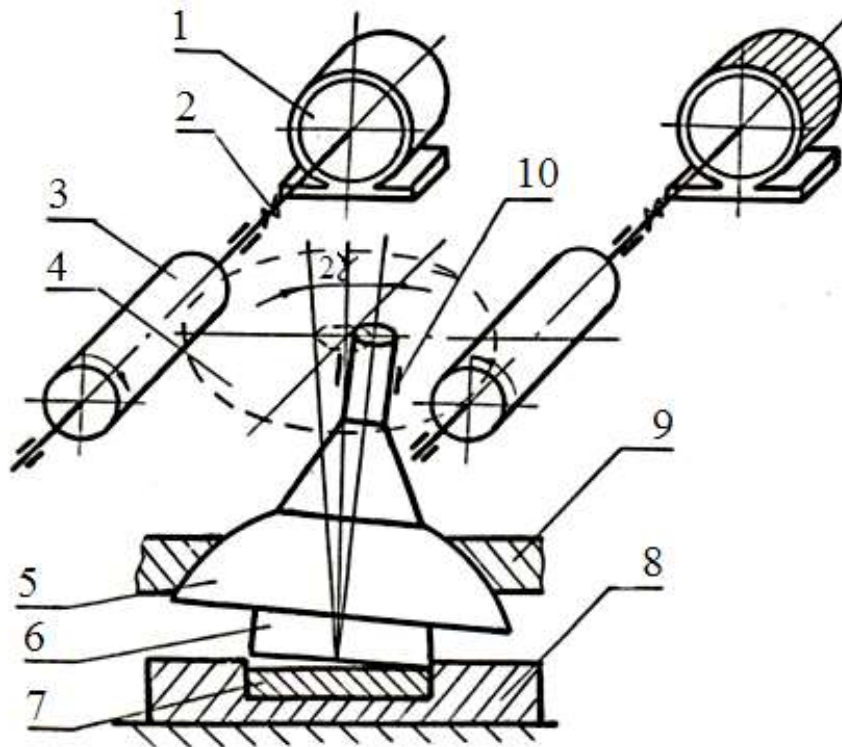
4.2 Штампування способом сферорухомої обкатки

Процес сферорухомої обкатки здійснюється на сферорухомому пресі, кінематична схема якого зображена на рис. 4.5. Особливістю сферорухомого штампування є те, що пунсон при дії на заготовку отримують одночасно два рухи: поступальний від повзуна преса і круговий від приводу механізму. При цьому заготовка залишається нерухомою, а пуансон своєю конічною поверхнею обкатує її торцеву частину.

Треба зазначити особливості сферорухомого штампування в порівнянні з осадкою плоско-паралельними плитами: площа поверхні контакту інструмента з заготовкою зменшується в 2,4...4,6 раза залежно від ступеня обтиснення за один оборот інструменту і радіуса заготовки.

Тиск на поверхні контакту заготовки і нижньої матриці змінюється від мінімального значення в центрі до максимального поблизу зовнішнього контуру заготовки, при цьому максимум зміщується в бік руху пуансона

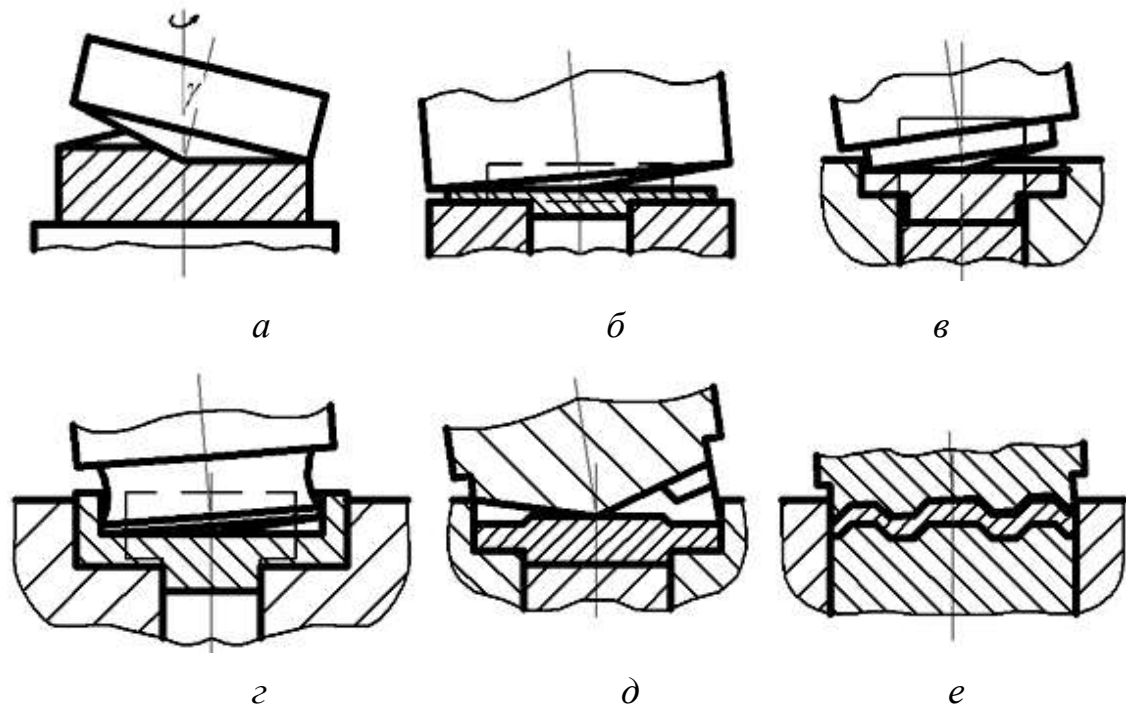
в окружному напрямку; максимальні сили зменшуються в 4,3...13,5 разів, при чому зі збільшенням ступеня деформації та подачі інструменту ефект зниження сили зменшується; підвищується якість поверхні заготовок, зменшується викривлення форми циліндричних заготовок за рахунок виключення діжоутворення опуклості в центральній частині заготовки; при рівних ступенях обтиску спостерігається збільшення ступеня деформації і твердості від центра заготовки до периферії [3, 24].



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

Рисунок 4.5 – Кінематична схема сферорухомого механізму

Зараз розроблено і впроваджено у виробництво такі процеси сферорухомого штампування, як: осадка і висадка, пряме, зворотне і комбіноване видавлювання, формування зубчастого профілю, рельєфна формовка і деякі операції листового штампування. Основні з схем сферорухомого штампування наведено на рис. 4.6.



a – осадка; б – висадка; в – висадка без уширення; г – комбіноване видавлювання; д – видавлювання зубчастого профілю; е – рельєфна формовка

Рисунок 4.6 – Схеми процесу сферорухомого штампування

4.3 Накатування різьб і профілів

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

Методи накатування знаходять широке застосування не тільки при формоутворенні різних різьб на суцільних і порожнистих заготовках кріпильних деталей, але і при отриманні різних профілів на деталях типу валів і осей, шліцьових з’єднань, черв’яків і гвинтів, зубчастих деталей, отриманих обробкою різанням, та при калібруванні (правленні) довгих виробів. Технологічні схеми накатування наведено у табл. 4.1 [3, 6, 12, 23].

За схемою 1 у табл. 4.1 накатування виконується плоским інструментом з тангенціальною подачею. Діапазон діаметрів накатування різьбі 1,5...33 мм. Перевагою схеми є універсальність. Спрощується автоматизація процесу накатування.

Накатування з радіальною подачею одним роликом (схема 2) призводить до підвищення продуктивності праці в порівнянні з фрезеруванням і нарізкою в 12...15 разів. Спостерігається також підвищення довговічності виробів.

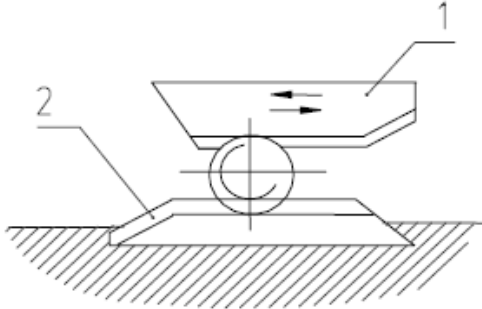
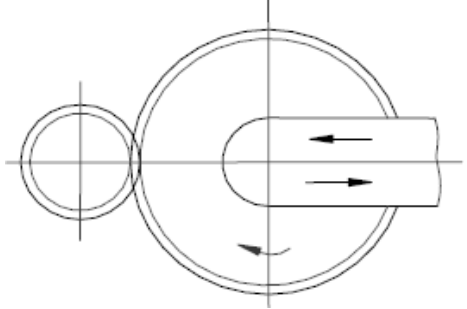
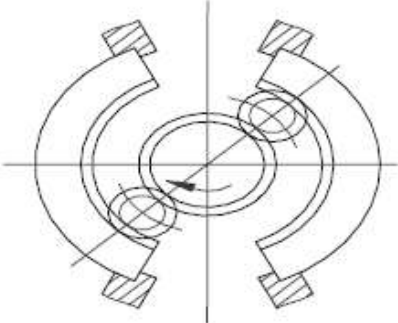
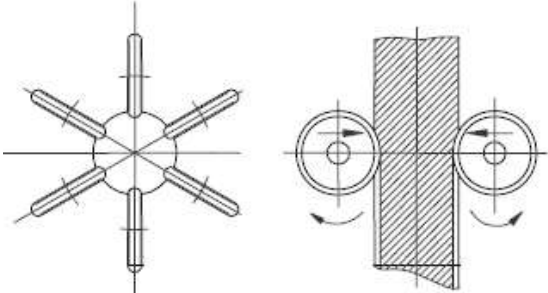
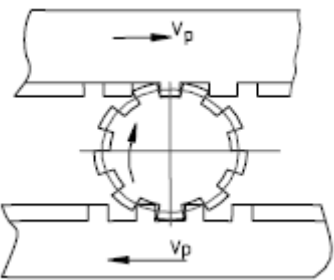
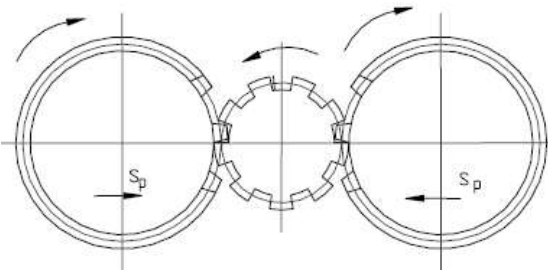
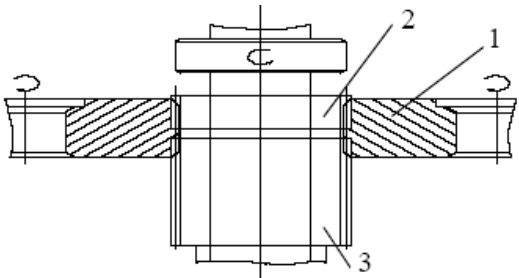
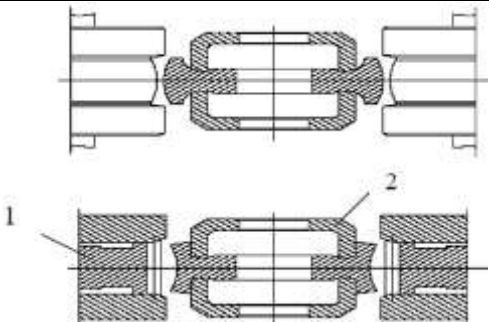
При накатуванні з тангенціальною подачею різьбонакатувальними сегментами та валками, які обертаються (схема 3), продуктивність підвищується в 3...5 разів. Обмеження процесу пов'язані з складністю виготовлення нарізного сегмента та трудомісткістю суміщення обробки рухомим і нерухомим інструментами. Схема 4 поздовжнього накатування багатороликовою головкою з радіальною подачею роликів призначена для отримання наскрізних шліців на жорстких валах.

Накатування плоскими зубчастими рейками (схема 5) дозволяє виготовити деталі з наскрізними та закритими шліцами евольвентного і трикутного профілів.

Поперечне накатування зубчастими роликами з радіальною подачею інструменту (схема 6) спрямоване на формування наскрізних і закритих шліців і зубчастих коліс евольвентного і трикутного профілів.

Схема накатування зубчастих шестерень з осьовою подачею заготовки 3 (схема 7) використовується для виготовлення циліндричних прямозубих і косозубих коліс з модулем 1,5...3 мм і діаметром ≤ 250 мм. Суть методу: заготовка нагріта в індукторі, накатується профіль між двома зубчастими колесами-інструментами 1, встановленими на певну міжцентрову відстань. Інструмент 1 виготовлено у вигляді зубчастого колеса, а для забезпечення якості виробів за схемою встановлена еталонна (ведуча) шестерня 2.

Таблиця 4.1 – Технологічні схеми накатування

<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 
<p style="text-align: center;">3</p> 	<p style="text-align: center;">4</p> 
<p style="text-align: center;">5</p> 	<p style="text-align: center;">6</p> 
<p style="text-align: center;">7</p> 	<p style="text-align: center;">8</p> 

Для виготовлення великогабаритних коліс із великим модулем використовується накатування з радіальною подачею інструментів (зубчастих коліс) 1 (схема 8). Технологічний процес здійснюється двома парами валків: одна пара – гладка, інша – зубчаста. Зубчастий і гладкий валок

насаджені на загальний вал так, що зубчастий валок знаходиться вище гладкого. Заготовку затискають гідравлічним пристроєм і розташовують проти гладких валків. Після нагріву заготовки до 1000–1100⁰С валки зближують і здійснюють обкатку обода гладкими валками, надаючи йому точні розміри за діаметром і шириною. Далі валки розводять і заготовку встановлюють проти зубчастих валків, після чого на неї здійснюють накатку зубів. Переваги процесу полягають у збільшенні продуктивності (у 5...10 разів), підвищенні довговічності зубців за рахунок сприятливого розташування волокна і зниження витрати металу.

Накатування застосовують і як остаточну операцію обробки зубчастого вінця при виробництві зубчастих коліс 15...16 квалітетів точності з модулем не більше 4 мм. При накатуванні економиться 15...30 % металу, трудомісткість процесу менша в 2...5 разів, втомна міцність підвищується на 15...20 %. Температура накатування – 1000...1100⁰С.

На рис. 4.7 наведено деталі з накатаними зубцями різної конфігурації [12].



Рисунок 4.7 – Деталі з накатаними зубцями

4.4 Поперечно-клинова прокатка

Суть процесу поперечно-клинової прокатки (ПКП) полягає в пластичному розкатуванні заготовки між двома клиновими інструментами, що паралельно переміщуються назустріч один одному і встановленими

на плитах плоско-клинового стану (табл. 4.2, схема 1) або обертаються в один бік і встановленими на валках з паралельними осями валкового стану (табл. 4.2, схема 2) [3, 22, 81].

Процес ПКП здійснюється у наступній послідовності. Вихідна заготовка подається в робочу зону стану на вісь прокатки і розташовується поперек вхідних частин інструментів. Інструментам надається зустрічний поступальний чи обертальний рух. Вхідні частини обох інструментів входять в заготовку з діаметрально протилежних сторін, що призводить до її обертання та утворення кільцевої канавки. Надалі кільцева канавка розширюється за рахунок розклатки металу похилими гранями інструменту, відбувається переміщення надлишкових обсягів металу в осьовому напрямку, профілювання та подовження заготовки. В результаті прокатки заготовка набуває негативного профілю інструменту.

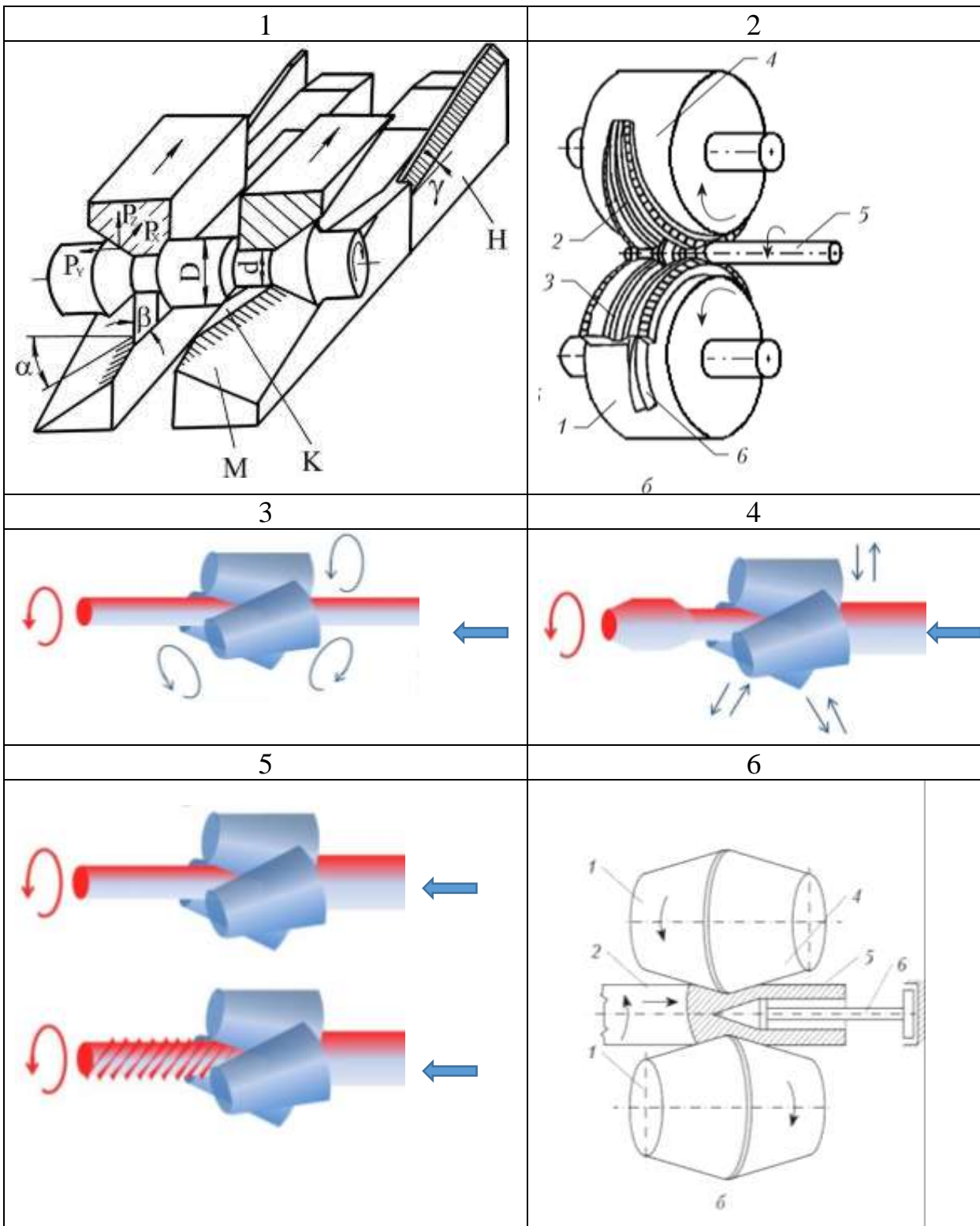
На заключній стадії прокатки здійснюють калібрування профілю, та ножами, встановленими по обидва боки інструментів, відрізають надлишки металу від прокатоного виробу.

Поперечно-клинковою прокаткою можна отримувати вироби, які містять елементи круглого перерізу у вигляді циліндрів, конусів та сфер, прямокутного перерізу у вигляді лисок, а також різьбові ділянки. В них можуть бути збережені окремі елементи перерізу початкової заготовки у вигляді квадрата чи шестигранника.

Методом ПКП можна отримувати вироби з конструкційних сталей, окремих марок інструментальних та високолегованих сталей, алюмінію, латуні, міді та титану [3, 12, 22, 81].

Однією з переваг процесу поперечно-клинкової прокатки є високий рівень точності виробів порівняно до інших процесів гарячої деформації. Сучасний рівень розвитку обладнання та технології дозволяє досягати точності діаметральних розмірів виробів на рівні Н8, включаючи і елементи різьблення.

Таблиця 4.2 – Схеми поперечно-клинової та поперечно-гвинтової прокатки



На поверхні виробів із пластичного матеріалу, наприклад, латуні, досягається шорсткість на рівні $R_a = 0,35 \dots 0,65$. Для виробів із сталей при гарячій прокатці досягається шорсткість лише на рівні $R_a = 1,5 \dots 2,5$.

В результаті поперечно-клинової прокатки у виробі формується нова макроструктура, в якій волокна матеріалу безперервні, розташовані симетрично навколо осі, ущільнені біля поверхні.

Поперечно-клинова прокатка забезпечує порівняно зі штампуванням підвищення продуктивності в 1,5...2 рази, зменшення витрати металопрокату на 10...30%, підвищення точності, скорочення трудомісткості наступних операцій та підвищення стійкості інструменту (60...300 тис. шт.).

Основні сфери застосування поперечно-клинової прокатки – виробництво заготовок для штампування та для подальшої обробки чистовим точінням або шліфуванням, а також виробництво заготовок або готових деталей, що не потребують наступної поверхневої обробки. Прикладом такої деталі є корпус різця, де клинова прокатка забезпечує необхідний рівень точності та шорсткості.

Використання ПКП є ефективним для виробництва ступінчастих виробів з різною конфігурацією ступенів та перепадами діаметрів до чотирьох і більше разів. Плоскоклінові стани найефективніші при виготовленні великої номенклатури високоточних деталей складної конфігурації з частими переналагодженнями. Валкові стани доцільно використовувати при масовому виробництві одного-двох виробів, особливо коротких з відносно невисокими вимогами до їх точності.

4.5 Поперечно-гвинтова прокатка

Процес поперечно-гвинтової прокатки (ПГП) здійснюють на двох або трьох валках, що обертаються в один бік. Осі валків – прямі, що перетинаються або схрещуються.

Процеси ПГП реалізовані на станах: гвинтової прокатки у гвинтових

калібрах; гвинтової прокатки з положенням осей робочих валків, що змінюється; поздовжньої прокатки тіл обертання та прошивних станах.

На станах гвинтової прокатки здійснюється деформація вихідного круглого прутка шляхом його вкручування в міжвалковий простір, утворений двома або трьома валками з гвинтовими калібрами, що обертаються в один бік. Обертальний та поступальний рух заготовки досягаються обертанням валків та відповідним їх нахилом до осі дроту (табл. 4.2, схеми 3 і 5). Деформація прутка при цьому відбувається внаслідок зміни форми витків на валках, що поступово наближається до необхідної конфігурації та розмірів готового виробу. Цей процес дуже ефективний для прокатки великих гвинтів, хробаків, оребрених труб. Зубчасті ролики з гвинтовими формоутворюючими при деформуванні напрохід дозволяють формувати на заготовках наскрізні і закриті шліці евольвентного і трикутного профілів [12, 81].

Стани гвинтової прокатки з положенням осей прокатних валків, що змінюється, (табл. 4.2, схема 4) застосовують для ступінчастих валів і осей великої довжини (при співвідношенні довжини до діаметру більше 10...20). До таких виробів відносять півосі автомобілів, торсіонні вали, вагонні осі, періодичний прокат та ін. Періодичний прокат – прокат, поперечний переріз якого періодично змінюється вздовж осі заготовки, що прокатується. Прокат зі змінним по довжині перерізом використовують у вигляді фасонної заготовки при гарячому штампуванні, що дозволяє застосувати простіші штампи, збільшити продуктивність при штампуванні, знизити відходи та покращити якість продукції. Періодичною прокаткою одержують заготовки шатунів автомобільних двигунів, осей вагонів та тепловозів, лопаток турбін.

На станах для ПГП здійснюють і процес прошивки суцільної заготовки. Вихідні заготовки мають постійний перетин. Їх отримують безперервним литтям (зливки) та прокаткою (прокат). Зливки мають форму циліндра або правильної багатогранної призми, підкат – форму суцільного або порожнистого циліндра. Прокатку проводять, як правило, у гарячому стані.

У процесі прошивки вихідної заготовки на косорозташованих валках (осі валків схрещуються) отримують товстостінну гільзу – заготовку для отримання трубчастих безшовних заготовок (табл. 4.2, схема 6). Гільза – товстостінна відносно невеликої довжини труба. Вона служить заготовкою для розкатки труб заданих розмірів поздовжньою та поперечно-гвинтовою прокаткою. Параметри прокатки (співвідношення діаметрів валків і заготовки, кут між осями валків 1 і заготовки 2 та нахилу конічної частини валка) підібрані так, щоб через нерівномірність деформації в центральній частині заготовки 2 створювалися радіальні напруження, що розтягують. Під дією цих напружень метал у центральній зоні заготовки розпушується, і утворюється порожнина. Щоб попередити утворення тріщин на поверхні порожнини та отримати заготовку труби заданих розмірів, встановлюють конічну оправку 4 (прошивень). Оправку 4 встановлюють з випередженням моменту самовільного утворення порожнини на 2...3 мм. Її закріплюють на стрижні 6, кінець якого встановлений у опорі, що обертається. Після закінчення прокатки гільзу 5 знімають зі стрижня 6 і направляють на трубопрокатні стани для подальшої розкатки в трубу. [12, 81].

При співставленні процесів ПКП і ПГП, незважаючи на суттєві переваги, у ряді випадків поперечно-клинова прокатка не витримує конкуренції з поперечно-гвинтовою. При поперечно-гвинтовій прокатці інструмент універсальний, а при поперечно-клиновій – тільки для даного типорозміру. Витрати на інструмент виправдовують себе лише при великосерійному та масовому виробництві та обмеженій номенклатурі деталей. Заготовки довжиною понад 750...800 мм вимагають громіздких та дуже дорогих станів.

Рекомендована література [3, 12, 22, 49, 80, 81]

5 ПРОЦЕСИ ІНТЕНСИВНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Інтенсивна пластична деформація (ІПД) (англ. severe plastic deformation) – спосіб отримання безпористих металів і сплавів з розміром зерна близько 100 нм, що полягає у формуванні за рахунок великих деформацій сильно фрагментованої та розорієнтованої структури [4, 12, 23, 28].

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

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

Для здійснення великих пластичних деформацій можна використовувати різні процеси обробки тиском: прокатку, волочіння, пресування та ін. Дослідження показують, що ефект великих деформацій при певних умовах можна отримати шляхом немонотонної формозміни заготовок. Це використовується в процесах обробки тиском, основною метою яких є накопичення деформації в заготовках, а не зміна їх форми. До таких процесів відносяться: рівноканальна кутова екструзія, всебічне кування, гвинтова екструзія та інші, які називають процесами інтенсивної пластичної деформації (ІПД). Оскільки форма заготовки після ІПД практично збігається з вихідною, то є можливість багаторазової обробки заготовок для накопичення в них достатньої деформації.

З одного боку, ПД є процесами обробки тиском. Тому їх реалізація неможлива без вирішення характерних для таких завдань процесів: визначення напружено-деформованого стану заготовки, розрахунок силових параметрів процесу, проєктування і виготовлення деформуючого інструменту та оснащення, підбір мастил і т. д. З іншого боку, ПД – це не звичайні операції обробки тиском, метою яких є, перш за все, формозміна заготовок, а процеси, покликані формувати структуру матеріалів, що забезпечує задані фізико-механічні властивості. Для отримання субмікрокристалічних структур в об'ємних заготовках зараз використовують цілий ряд способів накопичення деформації (табл. 5.1).

Зазначимо, що розвиток методів ПД йде у наступних напрямках: одержання рівномірної структури та зменшення розміру зерна; підвищення коефіцієнта виходу придатного за допомогою рівномірної обробки об'єму заготовки; спрощення технологічних процесів та обладнання; розширення спектра використовуваних матеріалів [4, 28, 30].

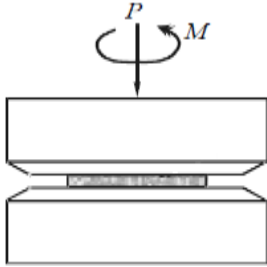
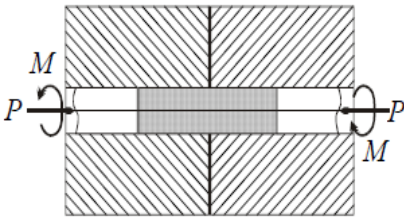
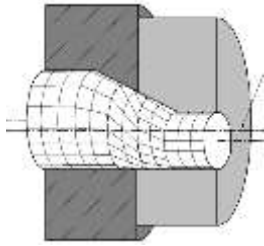
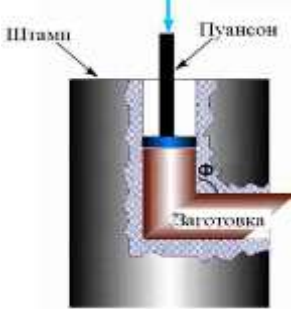
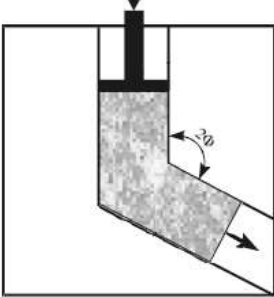
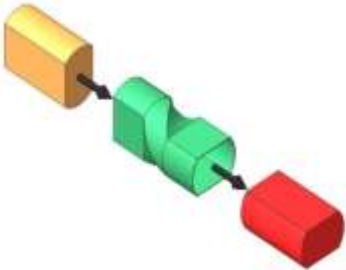
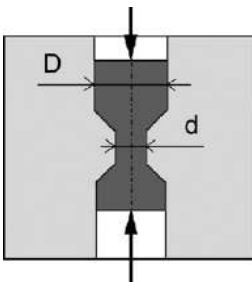
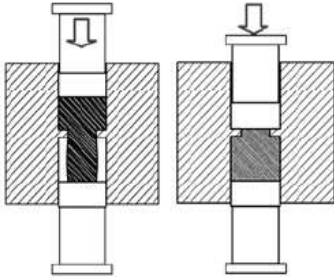
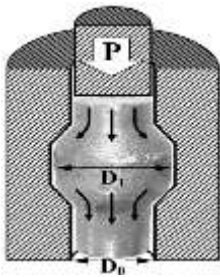
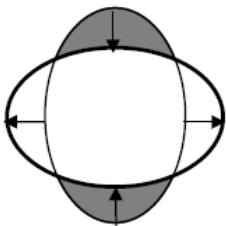
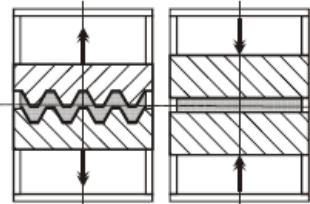
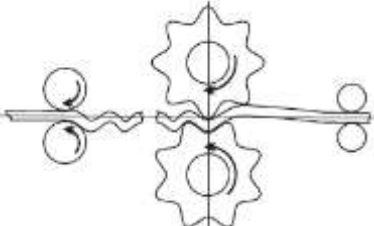
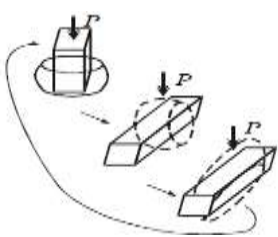
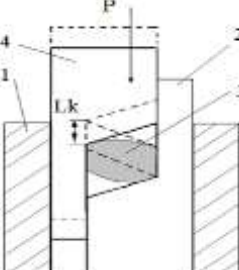
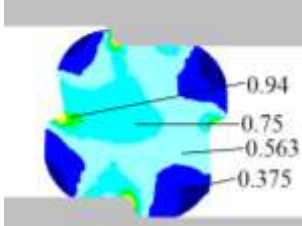
Дослідники відзначають низку важливих умов для створення структурних змін у матеріалі заготовки при реалізації ПД:

- створення зсувних деформацій;
- високе гідростатичне напруження в матеріалі заготовки;
- знакозмінне навантаження.

Аналіз технологічних схем одержання об'ємних заготовок методами інтенсивного пластичного деформування проведемо за допомогою схем базових способів ПД, поданих у табл. 5.1.

Спосіб кручення під високим тиском (high-pressure torsion) (КВД), запропонований П. Бріджмен (1935), дозволяє отримувати деталі невеликих розмірів круглої форми (типу дисків) з багатьох матеріалів (табл. 5.1, схема 1) [29, 31]. При деформуванні заготовки створюються високі тиски до 10 ГПа, при яких виконується поворот інструменту. КВД має суттєві обмеження за формою та розмірами заготовок.

Таблиця 5.1 – Схеми ППД

<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
<p>4</p> 	<p>5</p> 	<p>6</p> 
<p>7</p> 	<p>8</p> 	<p>9</p> 
<p>10</p> 	<p>11</p> 	<p>12</p> 
<p>13</p> 	<p>14</p> 	<p>15</p> 

Висота заготовок не перевищує 1 мм, частіше це 0,3...0,5 мм, а діаметр до 20 мм. Після виконання 5 і більше обертів дослідники отримали досить рівномірну структуру в центрі та периферійних зонах заготовки, незважаючи на різницю кутових швидкостей [34]. Розвитком способу є кручення у складеному контейнері під тиском (схема 2).

Спосіб рівноканального кутового пресування (РКУП) (Equal channel angular extraction, ЕСАЕ), запропонований В. Сегалом та співробітниками у 1973 р. (схема 4), дає можливість отримувати деталі з різних матеріалів витягнутої форми з прямокутним, круглим або квадратним перетином при використанні відносно простої конструкції штампової оснастки. За реалізації методу РКУП може змінюватися кут повороту каналу (схема 5). В осередку деформації створюється схема простого зсуву, яка призводить до виникнення непарних дотичних напружень на межах зерен, які забезпечують поворот зерен та формування висококутових границь, властивих для матеріалів отриманих методами ПД [28, 32]. Метод РКУП може бути реалізований на досить простому устаткуванні та простому технологічному оснащенні [32].

У більшості випадків дослідники розвивали процес РКУП [28, 32], додаючи варіанти течії металу у різних напрямках, зміни геометрії каналу та траєкторії руху заготовки, а також створення нових осередків деформацій для зниження нерівномірності деформування.

Гвинтова екструзія (twist extrusion), запропонована Я.Є. Бейгельзімером в 2002 р. [30], виконується в каналах прямокутної форми, при цьому середня частина перерізу каналу утворена обертанням поперечного перерізу каналу вздовж його поздовжньої осі, забезпечуючи поворот кожного перерізу заготовки при проходженні через канал, що схоже з крутінням під великим тиском, але дає можливість обробляти заготовки великих розмірів та довгастої форми (схема 6). Обмеженням у даному випадку є довжина заготовки, що обробляється [31, 32].

Найбільша інтенсивність деформацій спостерігається у поверхневих шарах заготовки. За один прохід виконується прокручування заготовки в один бік, при другому проході в протилежний бік [31]. Таким чином,

здійснюється зміна напрямку деформування. Ступінь деформації у поверхневих зонах заготовки становить 1,2...1,4, у центральній зоні вона значно менше. Найчастіше виконують 4 проходи для накопичення високого ступеня деформації та отримання необхідних властивостей заготовки.

Недоліками методу гвинтової екструзії є: недостатнє опрацювання центральної зони заготовки, наявність непророблених торцевих зон, складність обладнання та штампового оснащення, а також високі навантаження на інструмент. Проблемою реалізації даного методу ПД є і конструкція роз'ємної матриці з гвинтовим каналом, виготовлення якої пов'язане з технологічними труднощами.

Спосіб циклічної екструзії (cyclic extrusion compression) або «Пісочний годинник» запропонований Д. Річертом у 1981 р. (схема 7). Заготовки циліндричної форми розташовують у середині матриці, яка має циліндричний канал із внутрішнім виступом. Зверху та знизу заготовки встановлюються пуансони, до яких прикладається початковий тиск. Переміщення вгору-вниз дається матриці або парі пуансонів. В результаті в заготовці виникає зона пластичної деформації, що переміщується вгору-вниз. Цей процес через великі навантаження на інструмент застосовують для обробки кольорових металів або порошків, а при нагріванні можливе застосування для обробки крихких матеріалів [29, 32].

Метод багаторазової екструзії через філь'єру чи циклічної екструзії полягає в багаторазовому деформуванні металу екструзією (видавлюванням), через звужений отвір оснастки, поздовжній переріз якої має форму пісочного годинника. У зразку за P циклів накопичуються величезні деформації, що реалізуються шляхом чистого зсуву, причому розміри заготовки не змінюються.

Дійсний ступінь накопиченої деформації визначається формулою

$$\phi = 4 \cdot N \cdot \ln(D/d)$$

де D і d — діаметри циліндричної і робочої частини, що звужується.

Вирішення проблеми рівномірного розподілу властивостей та зменшення анізотропії матеріалу може бути отримано при комбінації процесів ПД та класичних процесів ОМТ, таких як волочіння зі зсувом (схема 3), знакозмінне деформування (схеми 7–10) способами прямого (схема 8), зворотного [29] чи радіального видавлювання [64–66], осадка з рифленням (схема 11), прокатка зі зсувом (схема 12) та інші.

Всебічна ковка і циклічна ковка в закритому просторі (схема 13) застосовується для отримання великого ступеня деформації в заготовках прямокутної форми з різних матеріалів в ізотермічних умовах деформування в замкнутому просторі штампу зі зміною осі навантаження на кожному переході.

Крім цього, запропоновано схеми обробки, що включають комбінування відомих процесів ПД, таких, як РКУП і ВЕ [28, 31], що створює перспективу для отримання комбінованого впливу з метою поліпшення властивостей заготовки без додаткової обробки наступними операціями шляхом спрощення технологічного процесу та використання універсального обладнання.

У ДДМА запропонований спосіб деформування реверсивним зсувом (схема 14) [33], при якому заготовку фіксують у штампі по довжині та деформують її поперечні перерізи, з одночасним формозміною всього об'єму заготовки в умовах плоского деформованого стану.

Запропонований спосіб здійснюється наступним чином. У матрицю 1 (схема 14), встановлюють контрпуансон 2, який має одну з поверхонь, що деформують, нахилену під кутом β . Потім на цю поверхню встановлюють заготовку 3 з поперечним перерізом довільної форми. Зверху заготовки встановлюють пуансон 4, до якого прикладають зусилля, що деформує P , і отримують форму заготовки у вигляді паралелограма. Після деформування заготовку вилучають із штампу, виконують поворот на 180° по осі деформування, знову встановлюють у штамп і таким чином змінують на наступному переході напрямок деформування. На останній

операції течію деформування зменшують у 2 рази і відновлюють близьку до симетричної форму поперечного перерізу заготовки. Етапи деформування повторюють до отримання необхідної дрібнозернистої структури.

Комбіноване деформування заготовок з інтенсивними зсувними деформаціями в заготовці при обробці металів тиском дозволяє отримувати високі механічні властивості кінцевого виробу. У ДДМА також розроблено ряд способів комбінованого деформування, які представляють інтерес для реалізації елементів штампування у виробництві крупних виробів [4, 64].

Спосіб деформування заготовки ступінчастими інструментами (бойками) (схема) забезпечує інтенсивний зсув у поперечному перерізі заготовки.

Рекомендована література: [4, 8, 30–33, 64–66].

6 ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ РІДИНОЮ

6.1 Гідроекструзія (видавлювання рідиною високого тиску)

Гідроекструзія (ГЕ) – це процес обробки матеріалів тиском, при якому заготовка поміщається в замкнутий контейнер і видавлюється з нього рідиною через канал в порожнину (матрицю), що повторює форму деталі. Гідроекструзія – один із способів пресування, при якому для передачі високого тиску (0,5–3 ГПа) використовується рідина (наприклад вода, олія, розплавлене скло). Спосіб служить для видавлювання виробів і напівфабрикатів з малопластичних металів і сплавів, що важко деформуються, а також з порошкоподібних матеріалів. Процес виконується переважно на вертикальних гідравлічних пресах. Гідроекструзією отримують прутки, дріт, профільні заготовки та заготовки, що мають форму тіл обертання, наприклад металорізальних інструментів (свердел, мітчиків, розгортки та ін.) [3, 10, 16, 21].

На рис. 6.1 наведено основні способи процесу гідроекструзії металів. За способом створення тиску в робочій рідині всі способи гідроекструзії можна поділити на дві принципово різні групи [21, 82]:

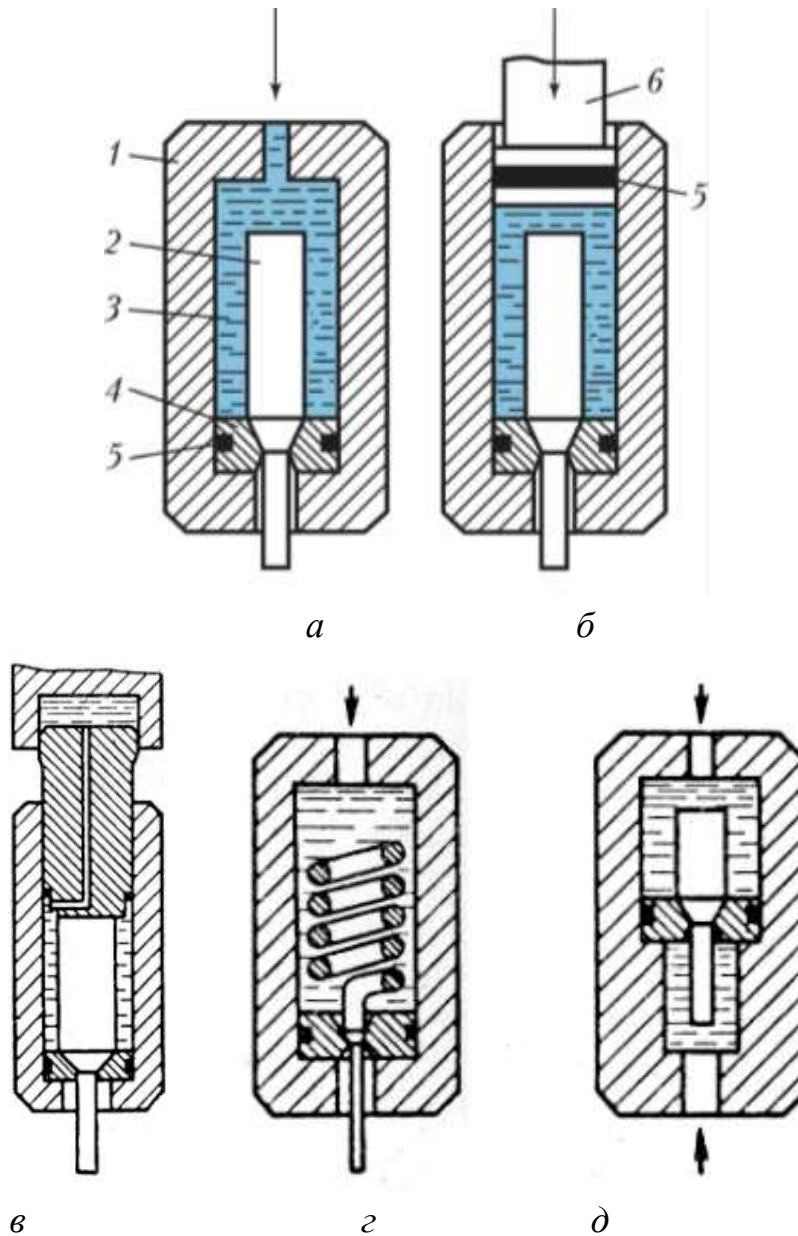
1. ГЕ на установках з винесеним джерелом тиску рідини (рис. 6.1, а). Для створення тиску на метал, що деформується, може діяти одна рідина, що подається в контейнер під тиском 1...3 ГПа.

2. ГЕ на установках прямої дії, в яких тиск рідини в контейнері створюється при безпосередньому переміщенні ущільненого пуансона (рис. 6.1, б). Для створення тиску на метал, що деформується, може діяти пресштемпель, що впливає на заготовку і рідину, в якій вона знаходиться. В такому випадку процес називають гідромеханічною екструзією (пресуванням).

Обидві ці групи мають переваги і недоліки, які обумовлені особливістю роботи установок для екструзії.

Установки першого типу мають такі переваги:

- відсутні рухливі ущільнення в контейнері;
- можливість видавлювання заготовок великого діаметра і великої довжини;
- можливість живлення декількох контейнерів від одного джерела.



а – компресне гідростатичне пресування; б – безкомпресне гідропресування; в – гідромеханічне пресування; г – гідропресування дротяної заготовки; д – гідростатичне пресування із протитиском

Рисунок 6.1 – Основні способи гідроекструзії металів

Недоліки установок з винесеним джерелом тиску рідини:

- громіздкість;
- велика кількість сполучних вузлів, які потребують спеціальної системи ущільнення;
- необхідність застосування дефіцитних товстостінних труб високого тиску;
- значні втрати тиску в трубах з каналом малого діаметра;
- видавлювання здійснюється при постійному збільшенні об'єму рідини високого тиску, що викликає підвищення її витрат. Надзвичайно небезпечним стає кінцевий момент пресування при розрядці контейнера;
- значна частина енергії витрачається непродуктивно на стискання великої кількості рідини.

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

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

Установки типу мультиплікатора дозволяють перетворювати тиск насоса або гідрокомпресора до тисків порядку 20–30 тис. атм. Однак такі установки складні в експлуатації і відрізняються низькою продуктивністю [10, 82].

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

- для пресування цим методом легко переобладнати промислові вертикальні і горизонтальні преси;
- конструкція компактна;
- видавлювання можна здійснити мінімальною кількістю рідини, яка в процесі пресування залишається постійною;

- невелика кількість вузлів, що вимагають спеціальної системи ущільнення;

- висока продуктивність процесу.

Недоліки установок прямої дії:

- необхідність великих переміщень плунжера при великій довжині заготовок;

- розміщення ущільнень безпосередньо в контейнері призводить до зростання їх розмірів при збільшенні внутрішнього діаметра контейнера, при цьому зменшується надійність ущільнень.

6.2 Технології гідроформування трубчастих деталей

Гідроформування є одним із видів металообробки, при якому використовується рідина під високим тиском, що подається в спеціалізовані матриці [3, 10]. Розрізняють листове гідроформування та гідроформування труб. Гідроформування використовується для того, щоб замінити процес штампування конструкції з двох частин та зварювання їх разом, а також для створення складних форм та контурів. В результаті виходять деталі підвищеної міцності та жорсткості, з полегшеною вагою та високою якістю поверхні. Гідроформування дозволяє досягти більш складної геометрії деталі ніж за інших традиційних методів деформування за рахунок «підтримки» пружним рідким середовищем [3, 10, 16]. Це процес пластичного формозміни форми трубчастої заготовки, при котрій частина силової схеми створюється високим гідростатичним тиском, що впливає на внутрішню поверхню трубчастої заготовки. У цих процесах рідина відіграє роль універсального формотворчого інструменту. Це дає можливість отримувати високоякісні цільноштамповані деталі, в тому числі і дуже складної просторової форми (типу хрестовин, трійників, гофр, корпусів задніх мостів автомобілів),

які раніше виготовлялися зварюванням з кількох елементів або взагалі не могли бути виготовлені в їх сучасному вигляді (порожнисті колінвали).

За допомогою гідроформування можна проводити різні види операцій: вирізування матеріалу та пробивання отворів, вільне згинання, відбортування, витяжку, видавлювання написів та малюнків, штампування підсічок.

Спрощений процес гідроформування труб:

- заготовки завантажуються в штампи;
- штампи закриваються;
- проводиться герметизація торців та заповнення штампів рідиною;
- гідравлічний тиск збільшується до максимального значення;
- заготовка набуває заданої форми (рис. 6.2, *a*);
- готова деталь видаляється зі штампів.

Найбільш поширеним типом гідроформування є зміна нормального круглого перерізу труби на інше по довжині заготовки. Сучасні технології гідроформування труб дозволяють отримувати складніші контури, ніж це було ще 30 років тому. Ця технологія активно використовується в автомобілебудуванні та здатна задовольнити найвищі запити дизайнерів у цій галузі. Завдяки гідроформуванню з'явилася можливість зменшення кількості зварних з'єднань, які за своєю природою є менш гнучкими.

Переваги технології гідроформування обумовлені тим, що процес дозволяє збільшити сферу застосування трубчастих конструкцій у будівництві. У будівельному конструюванні трубчасті конструкції отримали широке визнання, так як труби витримують навантаження ефективніше, ніж деталі зі штампованого листового металу, навіть коли вони зварюються в трубкоподібні складальні вузли. Гідроформовані деталі знижують загальну вагу конструкцій, кількість застосовуваних деталей та кількість зварних швів (рис. 6.2, *в*). Це також збільшує міцність конструкцій, опір вигину та крутним деформаціям. Спостерігається висока точність геометричних розмірів отриманих деталей. Забезпечується більш рівномірна товщина формованих деталей, ніж за традиційних методів витяжки тиском. Складні деталі,

що вимагають декількох циклів штампування традиційними способами, можна виготовити в одному циклі гідроформування. Гідроформування часто дозволяє досягти скорочення часу на штампування на 60–70 %.

Головним недоліком технології гідроформування є висока вартість виготовлення деталей. Зумовлено це необхідністю виготовлення дорогого оснащення (штампів) для кожного виду деталей, а також високою вартістю капітального обладнання (спеціальний гідравлічний прес), що потребує тривалого часу на окупність. Також існують обмеження щодо виготовлення отворів методом гідроформування, тому деякі операції доводиться робити іншими методами — пробивкою або лазерною різкою. У деяких випадках може знадобитися подальша термічна обробка (відпал) для зняття залишкового напруження.

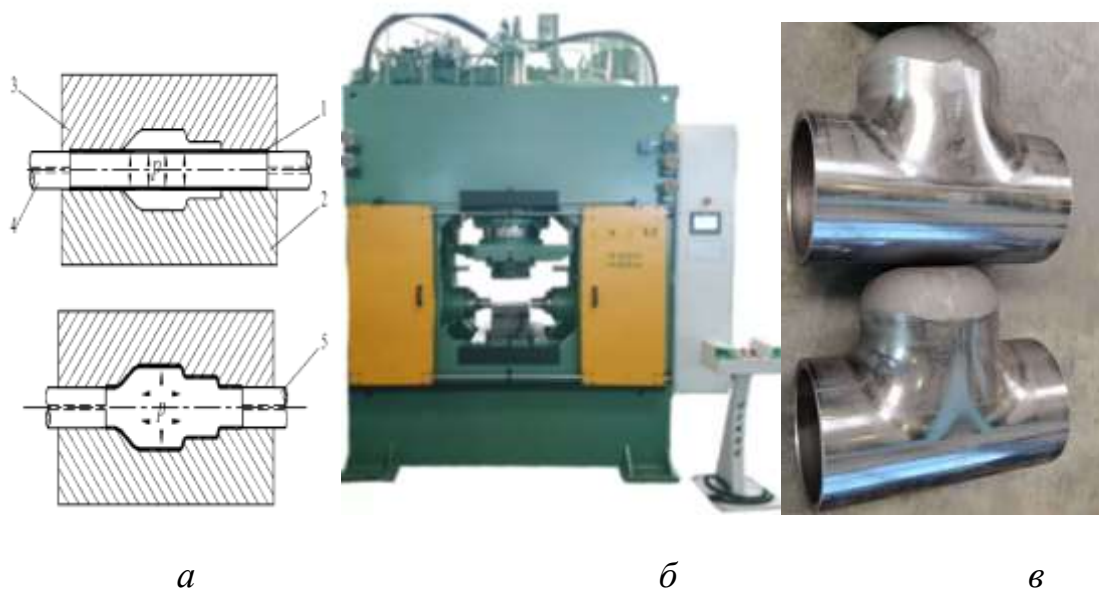


Рисунок 6.2– Схема процесу гідроформування (а), прес для штампування трубчастих деталей (б) і типові деталі, які отримані за способом (в)

У зв'язку з цим визначення необхідності використання гідроформування — це нелегке завдання, але за певних обставин, коли якість набагато важливіша за собівартість, ця технологія дозволяє значно підвищити конкурентоспроможність продукції, а отже, приносить прибуток. Обладнання

для гідроформування може являти собою як одиночні преси (рис. 6.2, б), так і автоматизовані або роботизовані лінії (URL: <https://ems-metallrobrabotka.com/%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0/>).

Матеріалом трубних заготовок для гідроформування можуть бути будь-які метали та сплави, які мають достатню пластичність. Поширено використання гарячекатаних та холоднотягнутих труб, труб з корозійностійких та жароміцних легованих, а також вуглецевих марок сталі. Також використовують зварні та біметалічні труби.

Останні розробки у галузі гідроформування спрямовані збільшення коефіцієнта деформації металу. В одній із нових технологій, наприклад, використовуються керамічні штампи та індукційні форми деталей. При цьому в процесі гідроформування з нагріванням потрібно застосування спеціальних мастил для штампової оснастки, що зменшують контактне тертя.

Для виготовлення гідравлічним штампуванням порожнистих деталей без відводів застосовують такі схеми: для отримання більших коефіцієнтів роздачі застосовують гідравлічне штампування з осьовою осадкою заготовки (рис. 6.3, а). [3, 83]. У цій схемі заготовка піддається одночасному навантаженню внутрішнім тиском рідини та деформування жорсткими пуансонами в осьовому напрямку. Заготовку 1 поміщають у порожнину жорсткої роз'ємної матриці 2. Форма і розміри цієї порожнини відповідають таким як у деталі, що штампується. Матриці замикають і стискають деяким зусиллям F_c , що запобігає їх розкриттю при штампуванні. Порожнину заготовки заповнюють робочою рідиною. До торців заготовки підводять осьові пуансони 3 і 4, які вдавлюють торці заготовки і ущільнюють її порожнину. Потім здійснюють осьове стиснення заготовки пуансонами, подаючи одночасно в порожнину заготовки рідину високого тиску p . У разі необхідності отримання виробу з ексцентриситетом застосовують схему гідростатичного штампування з осьовою осадкою та поперечним деформуванням заготовки (рис. 6.3, б). У процесі штампування форма осі заготовки

змінюється і прямолінійна стає ступінчастою. Така зміна відбувається під впливом осьової осадки заготовки 1 пуансонами 4 і зусилля, що прикладається в поперечному відносно осі заготовки напрямку з боку вкладишів 3 роз'ємної матриці 2. Рідина, що надходить під тиском у порожнину заготовки, перешкоджає появі складок, а також сприяє збереженню форми поперечного перерізу. Переміщення осьових пуансонів 4 та поперечних вкладишів 3 повинні здійснюватися у певній послідовності та узгоджено.

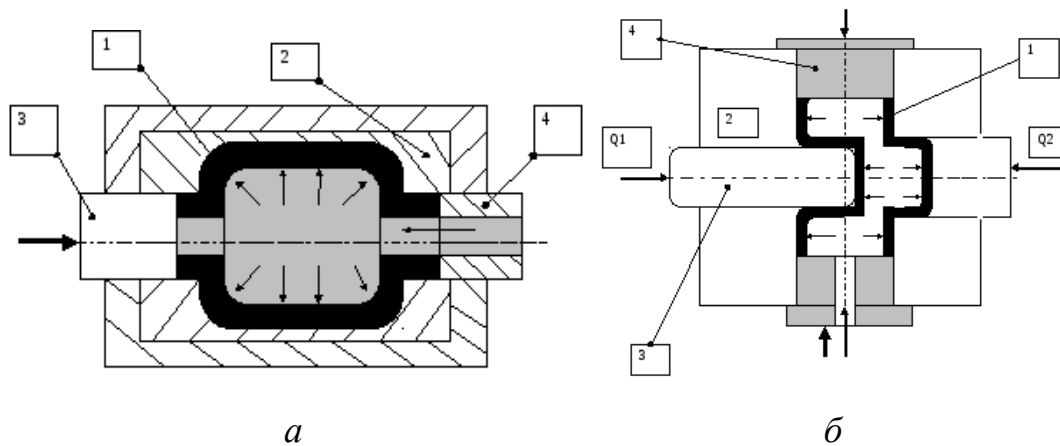


Рисунок 6.3 – Схеми гідроформування з осьовою осадкою (а) та з поперечним деформуванням заготовки (б)

6.3 Технології гідромеханічного формування листового матеріалу

Гідромеханічне витягування (витяжка)

Гідромеханічне витягування (витяжка) полягає в отриманні порожнистих деталей із плоских заготовок жорстким пуансоном у рідинній матриці [3, 10, 16, 84].

Гідромеханічну витяжку реалізують за двома основними схемами:

- з витісненням рідини із жорсткого контейнера через регульований клапан;
- гідромеханічна витяжка із витісненням рідини через витяжний зазор.

За першою схемою поверхні заготовки і контейнера розділені рідиною, а ділянки заготовки, що деформуються, притиснуті до поверхні пуансона тиском рідини. Відокремлення поверхонь сприяє зниженню розтягуючих напружень в заготовці, що штампується, і підвищенню якості зовнішньої поверхні, а підтиснення деформованих ділянок заготовки до пуансона призводить до блокування деформацій розтягування на цих ділянках. І те, й інше в результаті сприяє інтенсифікації витяжки та скорочення кількості витяжних операцій. До недоліку можна віднести необхідність ущільнення стику заготовки та поверхні штампу.

Друга схема більш переважна, так як в ній немає контакту заготовки з поверхнею штампу, що сприяє зниженню розтягуючих напружень в заготовках, що штампуються. Одночасно відпадає необхідність ущільнення стику між заготовкою та поверхнею матриці та застосування пристроїв для регулювання тиску робочої рідини.

Переваги даного способу:

- наявність корисних сил тертя між заготовкою і пуансоном, внаслідок притискання заготовки до пуансона;
- відсутність істотних сил тертя між заготовкою і матрицею;
- можливість отримання деталей з рівномірною товщиною стінки;
- можливість отримання складних деталей за один перехід;
- можливість деформування малопластичних високоміцних матеріалів.

Зусилля витяжки можна оцінити, як

$$P = 2p(R_n + t/2)(1 + (R_n + t/2)/2r_m)ry_s,$$

де R_n – радіус поперечного перерізу пуансону;

r_m – радіус витяжної кромки матриці;

r – поточний радіус фланця;

t – середня товщина циліндричної частини заготовки;

y_s – напруження текучості матеріалу заготовки.

Зусилля притиску вибирається з умови забезпечення рідинного тертя всіх ділянок заготовки.

Оцінка потрібного тиску рідини:

$$p = 2\gamma_s t / [mD_n(1+n)],$$

де n – показник зміцнення матеріалу;

m – коефіцієнт тертя;

D_n – діаметр поперечного перерізу пуансону.

Зазвичай $p = 6,0\text{--}30$ МПа для кольорових сплавів; $p = 20\text{--}70$ МПа – для сталей; $p = 30\text{--}100$ МПа – для нержавіючих сталей.

В установці для витягування (рис. 6.4, а) [84] на зовнішню нижню частину деталі, що витягується, діє вода 10 під тиском.

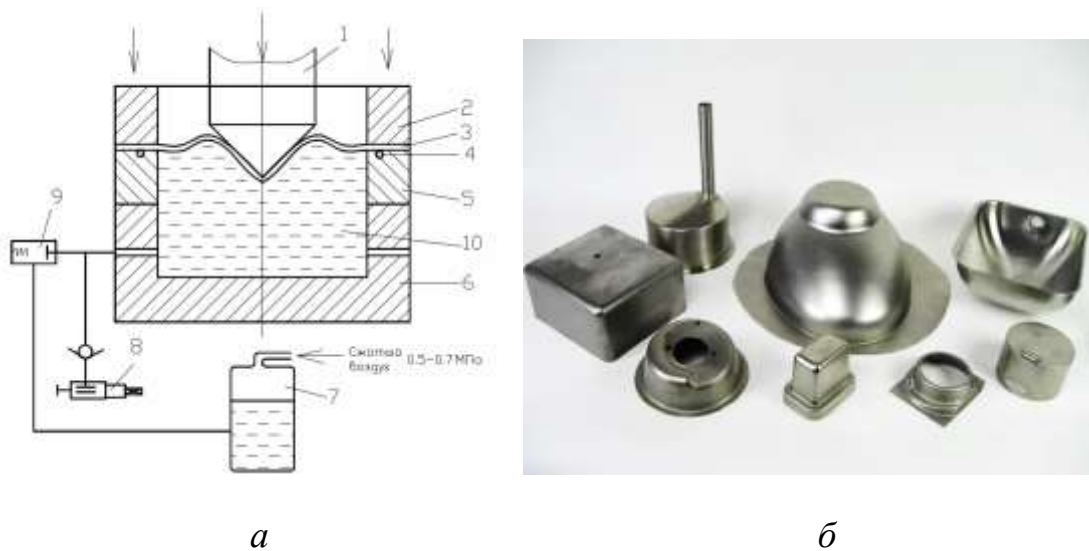
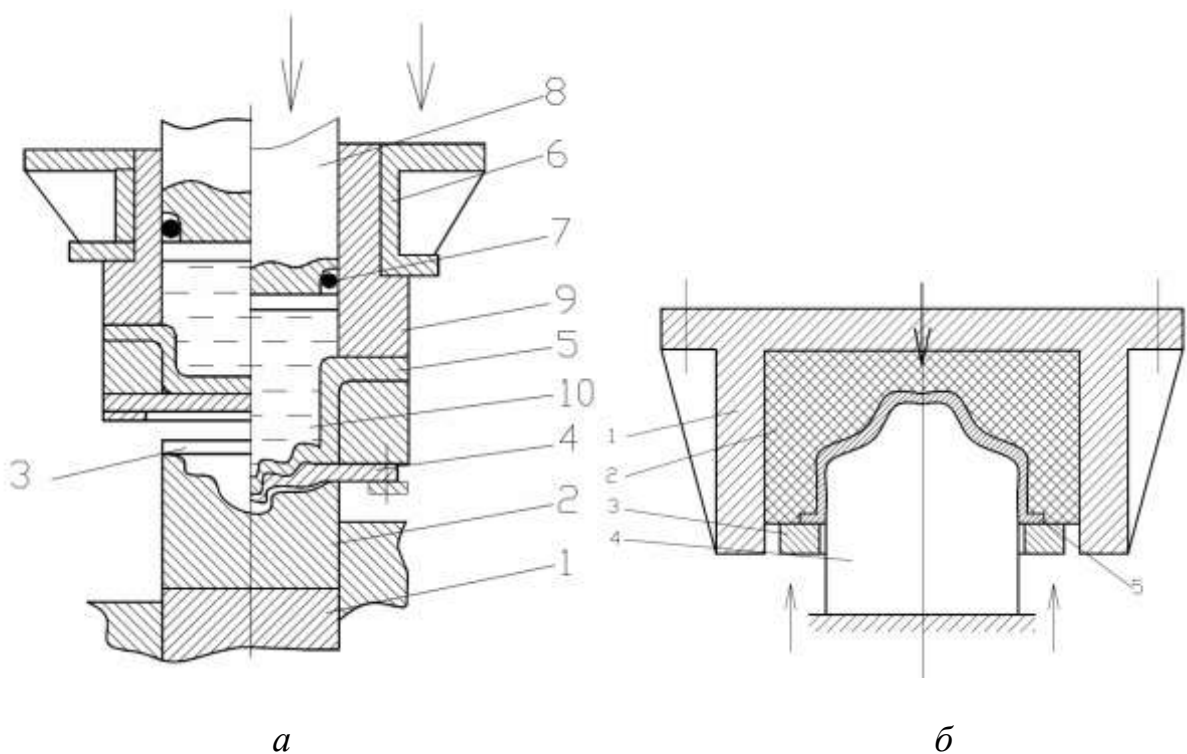


Рисунок 6.4 – Схема процесу гідромеханічної витяжки (а) та типові деталі, що виготовляються витяжкою (б)

Тиск рідини обтискає заготовку 3 навколо пуансона 1 і вигинає її вгору. Тому витягування відбувається не через кришку матриці 5, а через утворений рідиною борт. Установка забезпечена гідравлічним акумулятором 7, клапанами 8 і 9, а також притиском 2. Клапан 8 служить для заповнення б контейнера з акумулятора 7 робочою рідиною. Клапан 9 призначений для регулювання тиску контейнера при витяжці.

Витягування гідравлічним пуансоном

Установка для витягування гідравлічним пуансоном (рис. 6.5, *а*) містить прикріплені до столу преса 1 матрицю 2 з заготовкою і встановлений на повзуні преса 8 циліндр 9 з робочим середовищем 10. Передбачені захисна гумова діафрагма 4 і еластична діафрагма 7. Еластичний пуансон 10 на початку процесу стикається з усією поверхнею заготовки 3 і витяжка починається поступово з неглибоких ділянок. Еластичний пуансон здатний змінювати свою форму значною мірою у всіх напрямках, що дозволяє повністю заповнити весь об'єм матриці [3, 84]. Потоншення металу при такій витяжці незначне, що зменшує брак через розриви, складкоутворення майже не спостерігається. Можна отримати деталі дуже складної форми та застосувати заготовки з тоншого матеріалу.



*Рисунок 6.5 – Схема процесу витягування еластичним пуансоном (а)
та еластичною матрицею (б)*

Штампування гумою або поліуретаном

При використанні як еластичного пуансона замість рідини гуми або поліуретану механіка процесу практично не змінюється. Установка (рис. 6.5, б) містить контейнер 1, еластичну подушку 2, притискач 3, пуансон 4 і деталь 5. Штампування деталі 5 проводиться еластичною матрицею 2 та жорстким пуансоном 4.

Зусилля штампування визначається за такою формулою:

$$P = kqF,$$

де k – коефіцієнт матеріалу;

q – тиск еластичного середовища; F – площа заготовки.

Для алюмінієвих сплавів тиск еластичного середовища дорівнює $q = 30 \dots 50$ МПа; для латуні, сталі – $q = 35 \dots 65$ МПа; для нержавіючих сталей – $q = 90 \dots 120$ МПа.

6.4 Високоенергетичні технології штампування

Електрогідроімпульсне штампування

До інших оригінальних способів штампування з використанням рідини можна віднести і електрогідроімпульсне штампування (ЕГШ) [3].

В умовах дрібносерійного, у тому числі ремонтного, виробництва листове штампування часто нерентабельне через великі часові та матеріальні витрати на підготовку штампового оснащення.

Вирішення цієї проблеми істотно спрощується з використанням процесів електрогідроімпульсного штампування (ЕГШ), які дозволяють скоротити час на підготовку виробництва від одного до декількох днів залежно від складності деталі та кількості операцій, що виконуються в одному штампі. Іноді вдається поєднати в одному нескладному пристосуванні для ЕГШ кілька операцій традиційного штампування, наприклад, витягуван-

ня, формування, пробивку і навіть відбортування. Традиційна технологія потребує наявності окремого штампу для кожної операції. Ці особливості процесу є наслідком того, що виготовляється лише один жорсткий формоутворюючий елемент – матриця чи пуансон. Другий формоутворюючий елемент – це рідина під високим тиском (сотні, тисячі атмосфер), вплив якої на заготовку носить імпульсний, тобто ударний характер, тривалістю кілька сотень мікросекунд.

Експериментально та теоретично встановлені галузі ефективного застосування ЕГШ.

В даний час найбільш ефективною областю застосування листового електрогідравлічного штампування є формоутворення та калібрування конічних та циліндричних оболонок діаметром до 1200 мм при висоті до 1100 мм із заготовок товщиною до 5 мм. Процес здійснюється на спеціальних пресах для ЕГШ (рис. 6.6, а). Продовжується розширення діапазону товщин і габаритних розмірів виробів (рис. 6.6, б), що виконуються електрогідравлічним штампуванням, що залежить від параметрів генераторів імпульсів струму, так і від досконалості конструкції технологічного вузла.



*Рисунок 6.6 – Прес для електрогідроімпульсного штампування (а)
і отримані деталі (б)*

Електричну схему установок прес-штамп для ЕГШ наведено на рис. 6.7, а. Установка містить підвищуючий трансформатор 1, випрямляч 2, конденсатор 3, розрядник 4, камеру 5 з водою, електроди 6 і матрицю 8 з заготовкою 7. На заготовку 7, встановлену на матрицю 8, впливає ударна хвиля, що отримала прискорення від розряду електричного струму.

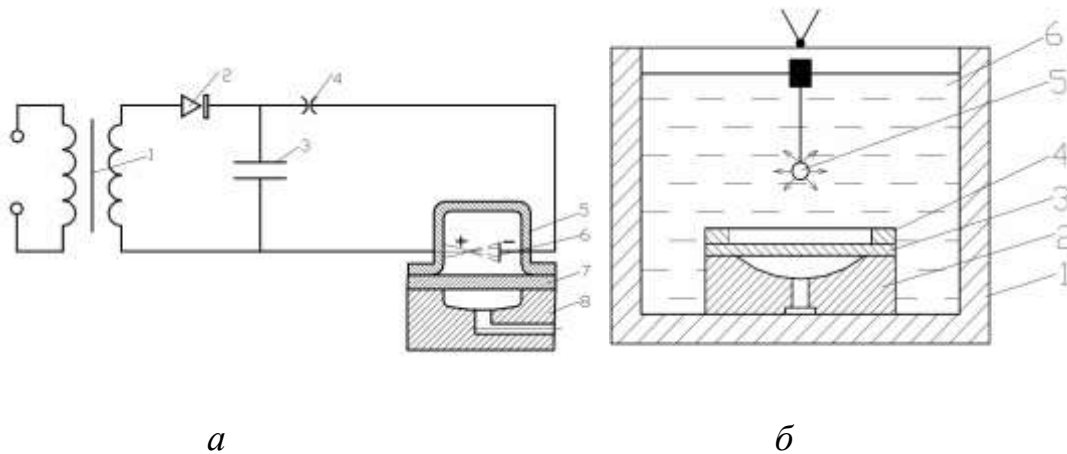


Рисунок 6.7 – Схема процесу електрогідроімпульсного (а) та вибухового штампування (б)

Відомі способи штампування, витяжки, згинання та виконання інших операцій деформування листових пластичних матеріалів передбачають застосування гідравлічних або механічних пресів, в яких тиск рідини створюється за допомогою насосних або компресорних установок. Електрогідравлічний спосіб штампування передбачає здійснення цих технологічних операцій електрогідравлічними ударами, створюваними у відкритій або замкнутій камері.

Процес здійснюється на спеціальних пресах для ЕГШ (рис. 6.6, а).

Технологія ЕГШ забезпечує:

- штампування деталей складної конфігурації із плоских листових та трубчастих заготовок;
- пробивання отворів будь-якої форми в тонколистових деталях на плоских і криволінійних поверхнях, вирубівання деталей по контуру.
- поєднання кількох штампувальних операцій;

- відновлення розмірів зношених поверхонь трубчастих деталей шляхом роздачі (обтиску) без подальшої механічної обробки;
- калібрування трубчастих деталей, у тому числі зварних оболонок будь-якого діаметра з внутрішніми ребрами.

Перевага технології:

- знижуються витрати на виготовлення штампової оснастки, оскільки роль пуансону виконує вода;
- скорочуються технологічні переходи при витяжці деталей конічної, параболічної та сферичної форми;
- забезпечується більш рівномірне стоншення деталі по товщині;
- досягається висока якість поверхні штампованих деталей та їх розмірна точність;
- стабілізуються внутрішні напруження деталі після деформування, зменшується жолоблення плоских деталей;
- зниження собівартості деталей, що штампуються малими серіями в експериментальному та дослідному виробництві, у 5-10 разів.

Порівняння процесу ЕГШ та традиційної технології виготовлення деталей на кривошипному пресі показує, що при виготовленні деталей середньої складності процес ЕГШ економічно вигідно використовувати до програми близько тисячі деталей.

Штамування вибухом

Штамування великогабаритних деталей із високоміцних металів вимагає застосування потужних та дорогих пресів, а також складного та трудомісткого оснащення, що веде до підвищення вартості штампованих виробів. Дуже перспективною технологією, що відрізняється великою економічністю та придатністю для виготовлення великогабаритних виробів із листових металів, є штампування виробів із застосуванням енергії вибухових речовин.

Штамування вибухом – це спосіб обробки металів на основі використання енергії вибуху [3, 10]. Тиски, що виникають під час вибуху, досягають 3000 МН, а час впливу на матеріал заготовки становить частки секунди. Формоутворення заготовки відбувається за рахунок імпульсного тиску ударної хвилі, що викликає в матеріалі заготовки напруження, що набагато перевищують межу плину. Штамування вибухом – один із перших, найбільш досліджених методів високошвидкісного деформування матеріалів. Маючи високу питому та загальну енергоємність і ефективність, вибухові речовини допускають деформувати деталі великих габаритів із високоміцних матеріалів з високою точністю. Таким методом штамування можна виконувати багато операцій холодного штамування (витяжку, формування, пробивання отворів та ін.).

Штамуванням вибухом виробляються деталі різних конфігурації та розмірів із плоских та фасонних листових заготовок. До джерел енергії під час обробки металів вибухом відносяться різні види вибухових речовин. Від різновиду енергоносія розрізняють формоутворення деталей вибуховими речовинами бризантної дії, порохових зарядів та газовими сумішами або зрідженими газами. Найчастіше застосовується тротил, що підривається за допомогою електродетонаторів. Вибух речовин бризантної дії характеризується великою концентрацією енергії. Для передачі цієї енергії на задану площу заготовки та для її рівномірного деформування вибух заряду раціонально робити не в повітрі, а у воді. Вода пом'якшує удар та забезпечує навантаження заготовки по всьому осередку деформації. Як правило, штамування роблять у відкритих ємностях – природних або штучних (басейнах) наповнених водою. Для процесу може бути підготовлений залізобетонний басейн 1 з водою 6, в якому розміщена матриця 2 із встановленою заготовкою 3 і притиском 4 (рис. 6.7, б). Заряд вибухових речовин 5 підводиться зверху та вибухає у водному середовищі. Обов'язкове дотримання заходів безпеки під час роботи з вибуховими речовинами.

Рекомендована література: [3, 21, 82–84].

7 ТЕХНОЛОГІЇ НАДПЛАСТИЧНОЇ ТА ІЗОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

7.1 Процеси надпластичного деформування матеріалів

Явище надпластичності (НП) матеріалів пов'язане з використанням великих і дуже великих пластичних деформацій. Їхнє застосування почалося з початку нашої ери. Ще в стародавньому Китаї виробляли складно-виразкову декоративну тканину – парчу, що включає в себе найтонші нитки із золота, срібла або металів, що їх імітують. Отримання цих ниток було нерозривно пов'язане з реалізацією значних пластичних деформацій, порівнянних за величиною з характерними для НП. Найбагатше шиття золотими та срібними нитками, яке було у всіх дореволюційних християнських монастирях і храмах, – це були дари 357 іменитих вкладників або результати майстерної праці місцевих черниць.

Золоті бані храмів – ще один приклад використання НП. Куполи покривали найтоншими листами так званого сусального золота. Ці листочки отримували шляхом «розковування» горошини золота маленькими молоточками, тож вихідна товщина горошини-«заготовки» зменшувалася в тисячу разів. Наприкінці 1940-х – на початку 50-х років «книжки» сусального золота вільно і недорого продавалися у вітчизняних ювелірних магазинах. З погляду сучасної науки про метали надпластичність (англ. Superplasticity) – це стан матеріалу, що має кристалічну структуру, яке допускає деформації, що на порядок перевищують максимально можливі для цього матеріалу в звичайному стані [12].

У 1920 р. відомий англійський металознавець Розенгейн (Rosenghain) досліджував поведінку сплаву цинку, алюмінію та міді, прокатаного при 250⁰ С. Він встановив, що величина подовження до розриву зразків, виготовлених із цього матеріалу, істотно залежить від швидкості навантаження. При швидкому навантаженні зразки виявляли звичайну поведінку.

При повільному – квазістатичному навантаженні до невеликих значень навантаження вони починали поводитися так, якби були виготовлені зі смоли або дьогтю. Було досягнуто подовження в сотні відсотків, що для того часу було зовсім новим і дивовижним фактом. Ніхто тоді не міг і припустити, що металевий сплав може поводитись, як в'язка рідина. Розенгейн припустив, що така дивовижна зміна властивостей кристалічного матеріалу як НП є наслідком прокатки – вона частково аморфізує структуру матеріалу [85].

У 1934 р. було опубліковано роботу викладача металургії в Армстронг-коледжі (Великобританія) С.Є. Пірсона (Pearson С.Е.), яка зараз визнана класичною, незважаючи на те, що вона була повністю забута наприкінці 30-х рр. [85].

Початок систематичного вивчення надпластичності було покладено класичними роботами А.А. Бочвара, який дав назву цьому явищу і вперше запропонував гіпотезу механізму надпластичної деформації (URL:<https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=ru&blang=ru&page=Book&id=99601>).

Одним із основоположників технологічного використання надпластичності є Я.М. Охріменко, який наприкінці 30-х років спостерігав аномалію течії металу при штампуванні кілець із сталі ШХ15 в області температур перлітного перетворення. Ці спостереження привели його до створення у 1949 р. оригінальної методики дослідження деформації сталей у процесі фазових перетворень.

НП характеризується низкою ознак:

- аномально високим ресурсом деформаційної спроможності; – напруженою перебігу матеріалу у кілька разів менше межі плинності, що характеризує пластичний стан даного матеріалу;
- вкрай незначним деформаційним зміцненням;
- підвищеною чутливістю напруження переходу матеріалу до зміни швидкості деформації.

НП зазвичай настає при температурах, що перевищують половину температури плавлення за абсолютною шкалою. Зразки в стані НП

при розтягуванні, як правило, не утворюють «шийки» і не схильні до інерційної кавітації, що має місце при руйнуванні зразків у стані звичайної пластичності. Багато аморфних матеріалів (наприклад, скло та полімери) також демонструють можливість великих деформацій при підвищених температурах, однак їх стан не відноситься до НП, оскільки ці матеріали не кристалічні речовини. Їхній стан описується законами поведінки ньютонівської рідини. Стан НП характерний для металів та керамік з дрібним розміром зерна зазвичай менше 20 мкм. Крім досить дрібного зерна, від матеріалу для досягнення стану надпластичності потрібна висока однорідність розподілу за обсягом термопластичних компонентів, які пов'язують між собою межі зерен у процесі пластичного переходу, дозволяючи матеріалу зберігати свою кристалічну структуру. Для металів досі немає однозначно прийнятої думки щодо механізму виникнення стану НП. Вважається, що він відноситься до області явищ атомарної дифузії та прослизання зерен відносно один одного.

Хоча надпластичність інтенсивно досліджувалась протягом півстоліття, тільки невелика кількість даних була опублікована для випадку чистих металів через швидке зростання зерен у них при температурах, необхідних для надпластичності. З розробкою нанокристалічних матеріалів з'явилася надія, що надпластичність може бути отримана у низці чистих металів. Нещодавно було з'ясовано, що надпластичність не пов'язана із сіркою в межах зерен або рідкою фазою в межах зерен. Таким чином, явище надпластичності в чистих металах все ще далеке від розуміння і потребує подальшого дослідження.

Надпластичність перестала бути властивістю якихось особливих сплавів і за відповідної підготовки структури й у певних умов деформації проявляється у значній частини сплавів, оброблюваних тиском. Відомо багато сплавів на основі магнію, алюмінію, міді, титану та заліза, деформування яких можливе в режимах надпластичності.

Надпластичність може мати місце лише за умови, коли в процесі деформації (розтягування зразка) не утворюється локальна деформація. При локалізації деформації у зразку виникає місцеве потоншення шийки і він порівняно швидко руйнується. Коли при надпластичній деформації починається утворення шийки, у цій ділянці зразка зростає показник деформації через високе значення ступеню деформації збільшується опір течії, завдяки чому створення шийки припиняється. Цей процес безперервно повторюється, приводячи до утворення так званої шийки, що біжить (розмитих шийок), коли вона переміщається по довжині зразка, не даючи локалізованого стиску. За такої квазірівномірної деформації досягаються дуже великі подовження при розтягуванні зразка.

Структурна надпластична деформація протікає головним чином завдяки зернограничному ковзанню, хоча певною мірою існує і внутрішньо-зерне дислокаційне ковзання.

Проблема створення промислового структурного надпластичного матеріалу – це насамперед отримання ультрадрібного рівноосного зерна та збереження його при надпластичній деформації.

Стабілізація розмірів зерна досягається: 1) застосуванням двофазних сплавів з об'ємним співвідношенням фаз 1:1, у цьому випадку має місце максимальний розвиток міжфазової поверхні, що забезпечує взаємне гальмування зростання зерен; 2) використанням дисперсних виділень, які є бар'єром для переміщення меж зернами. В даний час для обробки в стані надпластичності частіше використовують цинко-алюмінієвий сплав ЦА22 (22% Al), титанові сплави, двофазні сплави міді та цинку (латунь), алюмінієвий сплав, що складається з β -розчину та дисперсних частинок Al_3Zr , та деякі інші.

Явище надпластичності в промисловості використовують при об'ємному ізотермічному штампуванні та при пневмоформуванні (Відео Київ – 1980 р., URL: <https://youtu.be/9iGbeT08fx4>). Надпластичність дозволяє в процесі штампування за одну операцію отримати деталі складної форми, підвищити коефіцієнт використання металу, зменшити трудомісткість

та вартість виготовлення виробів. Недоліком є необхідність нагрівання штампів до температури обробки та мала швидкість деформацій.

Разом із методами витяжки листів на звичайному пресовому устаткуванні все більшого поширення набувають методи вакуумного або вакуумно-газового штампування (пневмоформування). У тих випадках, коли окислення металу або сплаву не становить небезпеки, замість інертних газів може бути використане повітря. Тиск газу в залежності від необхідної напруженості у коливається від кількох атмосфер до кількох десятків атмосфер.

Деякі способи вакуумно-газової термопластичної формозміни показано на рис. 7.1. Вони забезпечують більшу рівномірність подовження, деформацію виробів складної форми за одну операцію без проміжних відпалів, а в багатьох випадках і без операцій доведення (підпресування).

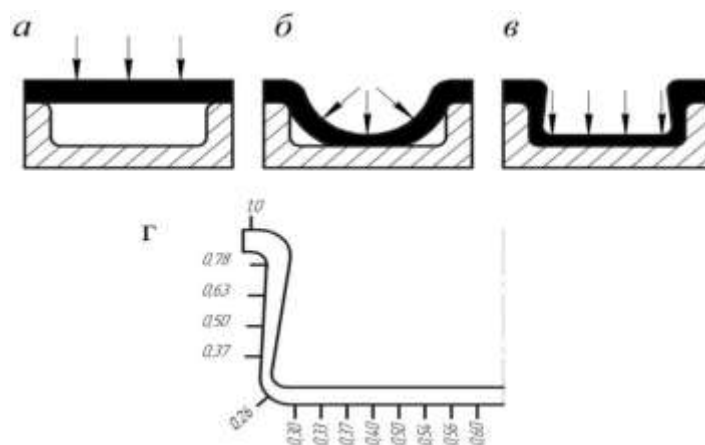


Рисунок 7.1 – Схема послідовного процесу пневмоформування у надпластичному стані (а–в) і зміна товщині виробу (г)

Для волочіння трубної заготовки запропонований оригінальний безфільтрний метод, який використовує надпластичний перехід [86] Трубну заготовку (рис. 7.2) затискають у фіксаторі 1 з одного кінця, а з іншого витягують з контрольованою швидкістю V_2 .

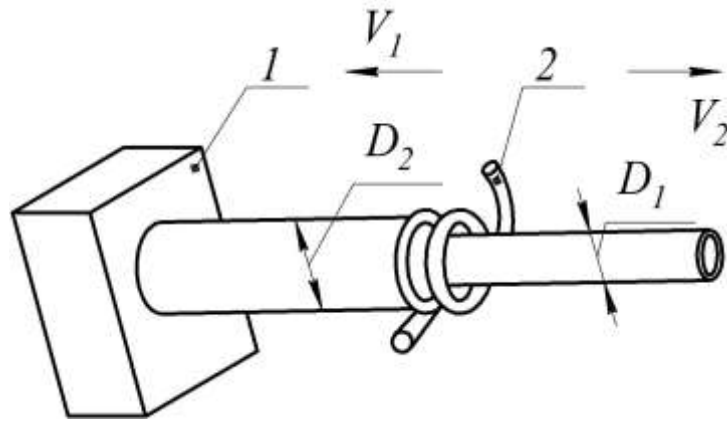


Рисунок 7.2 – Схема безфільєрного волочіння трубчастого матеріалу

Індуктор 2 нагріває локалізовану ділянку труби до температури надпластичного стану і переміщається у напрямку, зворотному витягуванню зі швидкістю V_1 . Отримуване обтискання визначається із співвідношення $(D_1/D_2)^2 = (V_2/V_1)$. Багаторазові проходи дозволяють отримати великі сумарні обтискання (за один прохід одержують до 50 % обтиску).

7.2 Ізотермічне штампування

Можливість штампування деяких високолегованих сталей і сплавів на основі кольорових металів (наприклад, жароміцні сталі, мідні сплави і ін.) істотно обмежується через високий опір деформації, низьку пластичність і вузький температурний інтервал обробки тиском. Для отримання поволок з подібних матеріалів часто застосовують ізотермічне штампування. При цьому спосіб гаряче деформування заготовки здійснюється в ізотермічних умовах, коли штампи і навколишній робочий простір нагріті до температури, близької до температури деформації сплаву. Наприклад, при штампуванні в штампах з жароміцного сплаву ЖС6-К температура нагріву інструменту і робочої зони становить до 900°C . Нагрівання забезпечується індукторами, вбудованими в робочий простір преса [3, 17].

Ізотермічне штампування металів і сплавів має переваги в порівнянні зі звичайним штампуванням. В ізотермічних умовах швидкість деформування значно менша, ніж при звичайному штампуванні. Це дозво-

ляє проводити штампування при меншому опорі металу деформуванню та, відповідно, меншому зусиллі. Крім цього, при ізотермічному штампуванні вдається досягти більш рівномірної деформації металу, що штампується. Важливою перевагою ізотермічного деформування є підвищення пластичності матеріалу, що обробляється, що пов'язано з більш повним розміщенням, а також «заліковуванням» мікротріщин внаслідок дифузії в металі при знижених швидкостях деформації [17]. Це дозволяє отримувати в ізотермічних умовах деталі складної форми з тонкими елементами та ребрами. Швидкість деформування становить менше ніж 5 мм/с. У процесі штампування інструмент та заготовка нагріті до однієї і тієї ж високої температури. При цьому забезпечується висока точність штампування заготовок складних конфігурацій, особливо тонкостінних поковок, що характеризуються великим відношенням площі поверхні до об'єму. Точність та якість заготовок, штампованих в ізотермічних умовах, досягається в результаті:

- зменшення пружних деформацій системи прес-штамп через зниження опору деформуванню штампованого металу та зусилля штампування;
- зменшення коливань температури деформації;
- зниження залишкових напружень в об'ємі штампованої поковки, що зменшує її короблення при остиганні та термообробці.

Ізотермічне штампування дозволяє виготовляти:

- поковки безпосередньо з литого матеріалу, що має погану пластичність;
- поковки з невеликими штампувальними ухилами або без них, з різними перепадами перерізів, малими радіусами переходів та припусками на обробку різанням;
- здійснювати гаряче ізостатичне пресування для усунення мікропористості, що зазвичай зустрічається в алюмінієвих виливках;
- дозволяє штампувати метали у надпластичному стані.

Ізотермічне штампування здійснюється в основному на пресах при невеликих швидкостях деформації, щоб забезпечити найбільш повне протікання процесів розміщення під час деформування.

Штамп, принципова схема якого показана на рис. 7.3, є кращим у разі штампування видавлюванням алюмінієвих сплавів [3, 10, 83].

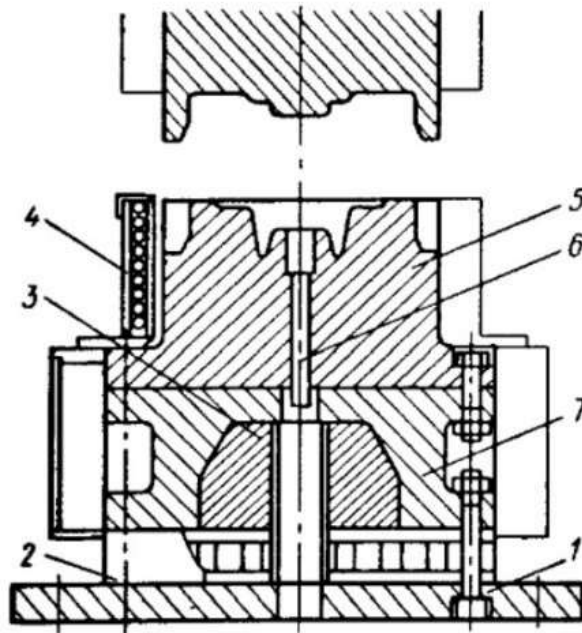


Рисунок 7.3 – Принципова схема штампу для ізотермічного штампування:

1 – нижня опорна плита; 2 – водоохолоджувана прокладка;

3 – теплоізоляція; 4 – індуктор; 5 – нижній штамп; 6 – виштовхувач;

7 – плита проміжна

Для практичного здійснення ізотермічного штампування осесиметричних порожніх виробів із фланцем необхідно забезпечити:

- нагрівання інструменту до температури 430...450 °С для алюмінієвих сплавів та підтримувати її постійною в процесі всього штампування;
- працездатність штампового інструменту за умов тривалого нагріву;
- контроль температури робочої зони та її підтримання з точністю ± 5 °С.
- надійну теплоізоляцію робочих частин преса та інструменту.

Ця технологія знайшла широке застосування стосовно магнієвих, алюмінієвих, а також титанових сплавів. Вона дозволяє виготовляти в ізотермічному режимі заготовки деталей із тонкими ребрами, виступами, порожнинами, вертикальними стінками. В даний час ізотермічне штампування алюмінієвих сплавів широко застосовується для отримання поковок

поршнів для ДВЗ, дизельних двигунів, компресорів; штампування магнієвих сплавів – для одержання корпусів, фітингів та інших поковок деталей, що мають застосування у конструкціях літальних апаратів. На рис. 7.4 показані деталі з титанових сплавів, отримані точним ізотермічним штампуванням (URL:<https://www.imsp.ru/en/node/38>).



Рисунок 7.4 – Деталі, що виготовлені ізотермічним штампуванням

Завдяки однорідній дрібнозернистій структурі ізотермічне штампування в умовах надпластичності дозволяє отримати деталь за один перехід, що дозволяє в 2...5 разів знизити витрату матеріалу, на 25...30 % зменшити трудомісткість механічної обробки, до 0,8 підвищити коефіцієнт необроблюваних поверхонь, помітно підвищити надійність та ресурс виробів.

З огляду зарубіжних установок для ізотермічного штампування слідує, що ефективна реалізація ізотермічного штампування в режимі надпластичності можлива лише за наявності автоматизованих комплексів ізотермічного штампування та спеціалізованих процесів з підготовки ультрадрібнозернистої структури штампованого матеріалу [85]. На фірмах «Wu-man-Gordon» і «Pratt-Whitney» (США) ізотермічна штампування великогабаритних виробів з титанових і нікелевих сплавів здійснюється у вакуумних камерах на гідравлічних пресах зусиллям 72 МН при температурі 1150...1180°C, зі зниженими швидкостями деформування (близько 1...0,2 мм/с) за наявності у технологічному процесі ліній, що реалізують процес «Gatorizing». Гідравлічний прес обладнаний системами керування швидкісним та температурним режимами штампування. Вакуумну камеру обслуговують два повністю автоматичні маніпулятори: один подає гарячі

заготовки у вакуумну камеру, а інший знаходиться в розвантажувальній камері і витягує вироби із зони штампування. Фірма CameronIronWork (Великобританія) використовує потужний гідравлічний прес зусиллям 300 МН для штампування турбінних дисків діаметром 870 мм і масою 600 кг. Штампування великогабаритних виробів також здійснюється зі зниженими регульованими швидкостями деформування (близько 0,1...0,2 мм/с). На пресі здійснюється ізотермічна штампування у гарячих штампах [85].

Перші вітчизняні гідравлічні преси для ізотермічного штампування зусиллям 2,5...40 МН не були оснащені розвиненою системою управління швидкісним режимом штампування, що дозволяє регулювати швидкість руху верхньої траверси преса в процесі штампування даного виробу (установча швидкість могла змінюватися тільки від виробу). Надалі система управління була вдосконалена у напрямі зниження робочих швидкостей штампування та їх регулювання. Потужні преси НКМЗ зусиллям 10 МН та 65 МН (виготовлено для Франції) останнім часом також обладнані системами управління зниженими швидкостями штампування, і вітчизняні підприємства оволоділи технологіями підготовки дрібнозернистої структури заготовок, що штампуються. Тому на вітчизняних підприємствах є основні необхідні умови для штампування великогабаритних виробів з легких сплавів у гарячих штампах з використанням ефектів, близьких до надпластичності. Наявність у промисловості автоматизованих пресів, здатних підтримувати в осередку деформації постійну температуру близьку до ізотермічного штампування і забезпечувати низькі швидкості руху рухомий траверси (низькі швидкості деформування), що піддаються, однак, регулюванню в досить широких межах, дозволяє визначити швидкісний режим штампування безпосередньо.

Рекомендована література [3, 12, 83, 85, 86]

ЛІТЕРАТУРА

1. Алієва Л.І., Таган Л.В. Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: посібник для студентів спеціальностей 131–136. Краматорськ: ДДМА. 2020. 180 с. *ISBN 978-966-379-927-8*.
2. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те. 1987. 144 с.
3. Авдеев В.М., Аксенов Л.Б., Алиев И.С. и др. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием; под ред. К. Н. Богоявленского, В. В. Риса, А. М. Шелестеева. Ленинград : Политехника. 1991. 351 с.
4. Алиева Л.И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Краматорск: ООО «Тираж–51». 2018. 352 с. *ISBN 978-966-379-846-2*.
5. Алиева Л.И., Жбанков Я.Г. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки. *Вісник ДДМА : зб. наук. праць*. Краматорськ : ДДМА. 2008. 1 (11). С. 13–19.
6. Ковка и штамповка: Справочник в 4 т.; Под ред. Е.И. Семенова и др. – Москва: Машиностроение, 1987. Т.3: Холодная объемная штамповка; Под ред. Г.А. Навроцкого. 384 с.
7. Кузнецу–штамповщику: Справочное пособие. Под ред. Л.Н. Соколова. Донецк: Донбас. 1986. 144 с.
8. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням : монографія. Краматорськ : ДДМА. 2021. 176 с. *ISBN 978-617-7889-08-2*.
9. Алієв І.С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання. Теорія та практика обробки матеріалів тиском. Колективна монографія. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. С. 364–485. *ISBN 978-966-2906-60-8*.
10. Neugebauer R. Umform- und Zerteiltechnik. Manuskript. Herausgeber: Prof. Chemnitz: Fraunhofer-institut IWU. 2005. 632 p.

11. Артес А.Э. Холодная объемная штамповка в мелкосерийном и серийном производстве. Москва: НИИМАШ. 1982. 58 с.
12. Алієва Л.І., Абхарі П., Малій Х.В. Спеціальні види обробки металів тиском: посібник для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання. Краматорськ : ДДМА, 2019. 95 с. ISBN 978-966-379-907-0.
13. Алиева Л.И., Малий К.В., Таган Л.В. Совершенствование процессов холодного выдавливания полых деталей: монография. Краматорск: ООО «Тираж–51». 2020. 255 с. ISBN 978-966-379-960-5.
14. Алиев И.С., Жбанков Я.Г. Методы расчета процессов горячего пластического деформирования и совершенствование технологийковки крупных поковок: монография. Краматорск : ДГМА. 2020. 192 с. ISBN 978-966-379-910-0.
15. Aliieva L., Zhbakov Y. Radial-direct extrusion with a movable mandrel. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. 11, pp. 175–183.
16. Казаченок В.И. Штамповка с жидкостным трением. Москва: Машиностроение. 1978. 77 с.
17. Яковлев С.П., Чудин В.Н., Яковлев С.С., Соболев Я.А. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных металлов. Тула: Машиностроение–1. 2003. 427 с.
18. Строганов Г.Б., Кайбышев О.А., Фаткуллин О.Х. Сверхпластичность при обработке материалов давлением. Москва: МААТИ–РГТУ. 2000. 93 с.
19. Гвоздев А.Е., Сергеев А.Н., Чуканов А.Н., и др. Из истории состояния сверхпластичности металлических систем. *Чебышевский сборник*. 2019. Том 20. 1. С. 354–370.
20. Thixoforming. Semi–solid Metal Processing. Edited by Gerhard Hirt and Reiner Kopp. *Wiley–VCH Verlag GmbH*. 2009. 474 p. Online ISBN 9783527623969.
21. Спусканюк В.З. Развитие теории и методов гидроэкструзии. *Удо-*

сконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА. 2002. С. 206–215.

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

23. Субич В.Н., Демин В.А., Шестаков Н.А., Власов А.В. Штамповка с кручением: монография. Москва : МГИУ. 2008. 389 с.

24. Агеев Н.П. Технологические возможности процессов объемной штамповки обкатыванием на сферодвижном прессователе. Предельные деформации. *Металлообработка*. 2002. 1. С. 25–31.

25. Богоявленский К.Н. Селин М.Т., Лапин В.В. Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок. Москва: НИИМаш. 1981. 82 с.

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

27. Калюжний В.Л. Математичне моделювання процесу холодного видавлювання з протитиском стаканів методом скінчених елементів. *Наукові вісті НТУ України «КПІ»*. 2001. 4. С. 88–93.

28. Валиев Р.З., Александров И.В. Парадокс интенсивной пластической деформации металлов. *Доклады РАН*. 2001. 1. С. 34–37.

29. Шибиков В.Г., Гончаров С.Н., Шибиков Р.В. Интенсивное пластическое деформирование выдавливанием. *Кузнечно-штамповочное производство. ОМД*. 2004. 3. С. 31–33.

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

31. Beygelzimer Y., Varyukhin V., Synkov S., Orlov D. Useful properties of twist extrusion. *Materials Science and Engineering*. 2009. A 503, pp. 14–17.

32. Алтухов А.В., Тарасов А.Ф. Систематизация процессов интенсивного пластического деформирования для формирования ультра мелкозернистых и нанокристаллических структур в объемных заготовках. *Письма о материалах*. 2012. 2. 1. С. 54–59.

33. Патент 76206 Україна, В22F3/03. Спосіб багаторазової інтенсивної пластичної деформації заготовки зі зміною напрямку деформування. О.Ф. Тарасов, О.В. Алтухов. №u201207396; заявл. 18.06.2012; опубл. 25.12.2012. Бюл. №24.

34. Калюжний В. Л., Ярмоленко О. С., Малій Х. В. Гаряче штампування сталевих порожнистих виробів з інтенсивною пластичною деформацією стінки і донної частини. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА. 2020. 1 (50). С. 98–103.

35. Алієв І.С., Левченко В.М., Корденко М.Ю., Таган Л.В. Бокове видавлювання складнопрофільованих деталей з відростками. *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції "Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти"*. Київ, 7–9 вересня 2021 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 74–78.

36. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1990. 2. С. 7–10.

37. Kaliuzhnyi V., Markov O., Aliieva L., Levchenko V., Kaliuzhnyi A. Simulation of combined extrusion of hollow conical parts. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2024. 46:454.

<https://doi.org/10.1007/s40430-024-05032-4>

38. Алиев И.С., Кащенко Ю.А., Еремин В.П. Исследование технологического процесса выдавливания полых конических деталей. *Прогрессивные технология, оборудование и оснастка для интенсификации процессов обработки давлением*: Сб-к научн. трудов. Киев: УМК ВО. 1991. С. 22–31.

39. Абхари П.Б., Алиева Л.И., Алиев И.С., Еремина А.А. Разработка штампов для выдавливания в разъемных матрицах. *Обработка материа-*

лов давлением. Краматорск: ДГМА. 2016. 1(42). С. 223–231.

40. Aliev I.S., Lobanov A.I., Borisov R.S., Savchinskij I.G. Investigation of die blocks with split matrixes for the processes of cross extrusion. *Forging and Stamping Production (Materials Working by Pressure)*. 2004. 8, pp. 21–6.

41. Карнаух С.Г. Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества: монография. Краматорск: ДГМА. 2010. 196 с.

42. Aliiev I.S., Levchenko V.N., Markov O.E., Kalujniy A.V., Aliieva L.I., Sivak R.I. Development of devices for measuring contact friction forces in the processes of volumetric plastic deformation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13537-4>

43. Пат. 67977 А Україна, В21 К21/00. Спосіб видавлювання порожнистих деталей. Алієв І.С., Савчинський І.Г., Алієва Л.І., Сивак К.І. № 2003077078 ; заявл. 28.07.2003 ; опубл. 15.07.2004. Бюл. № 7.

44. Пат. 74528 Україна, В21 К21/00. Спосіб одержання порожнистих виробів з тонким дном. І. С. Алієв, І. Г. Савчинський, Р. С. Борисов, Л. І. Алієва. заявл. 09.12.2003 ; опубл. 15.12.2005. Бюл. № 12.

45. 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. заявл. 10.01.2017 ; опубл. 10.07.2017. Бюл. № 13.

46. Пат. 13745 Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення деталей типу втулок з фланцем. Алієва Л. І. № 200509939 ; заявл. 21.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. № 4.

47. Пат. 138662 Україна, В21К 21/00. Спосіб комбінованого видавлювання порожнистих деталей. Алієва Л.І., Алієв І.С, Грудкіна Н.С., Левченко В.М., Малій Х.В. № u201904812; заявл. 06.05.2019; опубл. 10.12.2019. Бюл. № 23.

48. Пат. 137656 Україна, МПК В21 К21/00, В21 D22/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієва Л.І., Левченко В.М., Таган Л.В.,

Малій Х.В., Самоглядюв А.Д. № u201905742; заявл. 27.05.2019 ; опубл. 25.10.2019. Бюл. № 20.

49. Пат. 133899 Україна. В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієва Л.І., Алієв І.С., Левченко В.М., Малій Х.В., Самоглядюв А.Д. u201811522; заявл. 23.11.2018; опубл. 25.04.2019. Бюл. № 8.

50. Пат. 67960 А Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей з фасонною бічною поверхнею. Алієв І.С., Савченко О.К., Алієва Л.І., Чучин О.В. № 2003076832 ; заявл. 15.07.2004 ; опубл. 15.07.2004. Бюл. № 7.

51. Пат. 71184 Україна, В21 К5/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей з фасонною зовнішньою поверхнею. Алієв І. С., Носаков А. А., Алієва Л. І. заявл. 27.11.2003 ; опубл. 15.11.2004. Бюл. № 11.

52. Пат. 108586. Україна, В21 J5/12, В21 J13/02. Пристрій для видавлювання порожнистих виробів з фасонною зовнішньою поверхнею. Л.І. Алієва. № u201600088 ; заявл. 04.01.2016 ; опубл. 25.07.2016. Бюл. № 14.

53. Пат. 141755 Україна, В21 К21/00. Спосіб видавлювання порожнистих деталей. Алієв І.С. Калюжний В.Л. Алієва Л.І. Левченко В.М. Малій Х.В. u201910279; заявл. 10.10.2019; опубл. 27.04.2020. Бюл. № 8.

54. Пат. 107950 Україна. В21J5/12, В21К21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакану. Алієва Л.І., Гончарук Х.В., Шкіра О.В., Сивак Р.І. № u 2015 13100; заявл. 30.12.2015 ; опубл. 24.06.2016. Бюл. № 12.

55. Пат. 151730 Україна, В21К21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієв І.С., Алієва Л.І., Грудкіна Н.С., Левченко В.М., Таган Л.В. № u202106740; заявл. 29.11.2021; опубл. 07.09.2022. Бюл. № 36.

56. Пат. 141858 Україна, В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей типу гільз. Алієва Л.І., Калюжний В.Л, Корденко М.Ю., Кузенко О.А, Самоглядюв А.Д. u201911074; заявл. 11.11.2019; опубл. 27.04.2020. Бюл. № 8.

57. Дмитриев А.М., Воронцов А.Л. Технологияковки и объемной

штамповки. Часть 1. Объемная штамповка выдавливанием: учебник для вузов. Москва: Машиностроение–1. 2005. 500 с.

58. А.с. 662223 СССР, В21 J5/00. Способ выдавливания металлических изделий. И.С. Алиев. № 2016402/25–27; заявл. 12.04.74; Открытия. Изобретения. 1979. № 18.

59. Пат. 45702 Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієв І.С., Алієва Л.І., Жбанков Я.Г. № u 200904880 ; заявл. 18.05.2009; опубл. 25.11.2009. Бюл. № 22.

60. Пат. 84078 Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення деталей з бічними відростками. Л.І. Алієва, О.М. Бровкін, І.А. Деревенько, О.А. Жукова. № u201304310 ; заявл. 05.04.13 ; опубл. 10.10.13. Бюл. № 19.

61. Пат. 104817 Україна, В21 К22/04. Спосіб виготовлення деталей з фланцем. Л.І. Алієва. заявл. 30.06.15; опубл. 25.02.16. Бюл. № 4.

62. Пат. 48902 Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення деталей типу втулки з зовнішнім фланцем. П. Абхарі, І.С. Алієв, Л.І. Алієва, С.В. Мартинов. № 200910370 ; заявл. 13.10.2009; опубл. 12.04.2010. Бюл. № 7.

63. Пат. 51926 Україна, В21К21/00. Спосіб виготовлення деталей типу втулки з фланцем. Л.І. Алієва, С.В. Мартинов, М.С. Москаленко. № 201000434; заявл. 18.01.2010 ; опубл. 10.08.2010. Бюл. № 15.

64. Пат. 82189 Україна, В21 J1/04. Спосіб пластичного деформування виробів. Л.І. Алієва, І.А. Деревенько, Я.Г. Жбанков, Л.В. Таган. № u201301279; заявл. 04.02.2013; опубл. 25.07.2013. Бюл. № 14.

65. Пат. 108568 Україна, В21 J1/04. Спосіб інтенсивного пластичного деформування заготовок. Л.І. Алієва. № u201513087; заявл. 30.12.2015; опубл. 25.07.2016. Бюл. № 14.

66. Пат. 59104 Україна, В21 К21/00. Спосіб виготовлення заготовок із підвищеними механічними властивостями / Алієв І.С., Алієва Л.І., Жбанков Я.Г.. № u 201009176; заявл. 21.07.2010; опубл. 10.05.2011. Бюл. № 9.

67. Пат. 32661 Україна, В 21 К23/00. Спосіб виготовлення деталей типу стрижня з фланцем. Алієв І. С., Алієва Л. І., Жбанков Я. Г., Коцюбів-

ська К. І., Савчінський І. Г.. № у 200800342; заявл. 10.01.2008 ; опубл. 26.05.2008. Бюл. № 10.

68. Пат. 72113 А Україна. В21 J5/00. Спосіб одержання деталей з порожниною. Алієв І.С., Савчинський І.Г., Лобанов О.І., Алієва Л.І. № 20031211130; заявл. 08.12.2003; опубл. 17.01.2005. Бюл. № 1.

69. Пат. 73920 Україна, В21 K21/00. Спосіб виготовлення деталей з наскрізним отвором. Алієв І.С., Алієва Л.І., Бондарева О.М. № у 201204045; заявл. 02.04.2012; опубл. 10.10.2012. Бюл. № 19.

70. Пат. 32229 Україна, В21 K21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієв І. С., Алієва Л. І., Жбанков Я. Г. № у 200714594 ; заявл. 12.05.2008; опубл. 12.05.2008. Бюл. № 9.

71. Пат. 7430 Україна. В21 K21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієва Л.І., Чучин О.В. № у 20041210328; заявл. 15.12.2004; опубл. 15.06.2005. Бюл. № 6.

72. Пат. 32102 Україна, В21 K21/00. Спосіб розділення сортового прокату на заготовки. Алієв І.С., Алієва Л.І., Жбанков Я.Г., Косенко М.В. № у 200711369 ; заявл. 12.05.2008 ; опубл. 12.05.2008. Бюл. № 9.

73. Алиева Л. И. Проектирование процессов холодного выдавливания деталей с фланцами. *Научный вестник ДГМА*. Краматорск. 2016. 3(21Е). С. 19–26.

74. Алиева Л.И., Лобанов А.И., Сивак Р.И., Чучин О.В. Конструирование штампов для комбинированного выдавливания. *Матеріали ІХ Міжнар. НТК* 22.11. 2017. Харків: НТУ «ХПІ». С. 11–12.

75. Смуров А.М. Из опыта разработки, освоения и внедрения штампов с разъемной матрицей для металлоэкономной штамповки. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1992. 6. С. 5–8.

76. Plančak M., Čar Z., Kršulja M., Vilotić D., Kačmarčik I., Movrin D. Possibilities to measure contact friction in bulk metal forming. *Technical Gazette*. 2012. 19. 4, pp. 727-734. <https://core.ac.uk/download/pdf/14458437.pdf>

77. Zhang Q., Arentoft M., Bruschi S., Dubar L., Felder E. Measurement

of friction in a cold extrusion operation: Study by numerical simulation of four friction tests. *International Journal of Material Forming*. 2008. 1, pp. 1267–1270. <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0133-x>

78. Грудев А.П., Зильберг Ю.В, Тилик В.Т. Трение и смазки при ОМД. Справочник. Москва: Металлургия. 1982. 312 с.

79. Sofuoglu H., Gedikli H. Determination of friction coefficient encountered in deformation processes. *Tribology International*. 2002. 35, pp. 27–34.

80. Aksenov L.B., Kunkin S.N. Cold axial rotary outward-flanging of tube blanks by cylindrical rollers. *Global Science and Innovation: materials of the III International Scientific Conference* (Chicago, October 23-24th, 2014). Chicago. 2014, pp. 306–310.

81. URL:<https://www.amtengine.com/oborudovanie/preimushchestva-tekhnologii-poperechno-klinovoy-prokatki/>([ljcneg](#))(дата звернення: 02.06.2024).

82. Белошенко В.А., Варюхин В.Н., Спусканюк В.З. Теория и практика гидроэкструзии. Киев: Наукова думка. 2007. 246 с.

83. URL:<https://studfile.net/preview/2798883/page:5/>(дата звернення: 07.06.2024).

84. URL:<https://www.tsinfra.com/ru/deep-drawing/>(дата звернення: 02.06.2024).

85. URL:<https://doi.org/10.22405/2226-8383-2018-20-1-354-371>(дата звернення: 02.06.2024).

86. URL:<https://studfile.net/preview/7338772/page:17/>(дата звернення: 13.06.2024).

ДОДАТОК А

Перелік завдань для самостійної роботи

Тема 1. Проаналізувати публікації за темою дисертаційного дослідження і виявити переважні питання, яким присвячена увага дослідників в останні роки.

Тема 2. Провести співставлення рішень технологічних завдань підвищення точності і якості заготовок способами об'ємного пластичного формоутворення

Рекомендована література: [1, 4, 8, 13].

Тема 3 а. Провести аналіз можливостей і обмежень способів прямого і зворотного видавлювання для виготовлення порожнистих деталей типу гільз.

Рекомендована література: [1, 5, 8–10, 37, 38].

Тема 3 б. Провести аналіз способів комбінованого приєднаного і послідовного видавлювання для отримання деталей типу стрижня з фланцем, стакана з фланцем і порожнистої деталі типу гільз.

Рекомендована література: [4, 5, 8, 13, 37, 43–56].

Тема 3 в. Особливості конструювання штампів з роз'ємними матрицями та змінного інструменту для штампів холодного деформування (пуансонів і матриць).

Рекомендована література: [6, 10, 20].

Тема 4 а. Переваги та обмеження технологій локального пластичного деформування для виготовлення деталей типу ступінчастих валів та зубчастих коліс.

Рекомендована література: [9, 10, 22].

Тема 4 б. Знайти різновиди способів обкочування трубчастих та стрижневих деталей в холодному та гарячому стані.

Рекомендована література: [22].

Тема 5. На основі співставлення схем інтенсивного пластичного деформування оцінити перспективи способу гвинтової екструзії і реверсивного кутання за розробками ДДМА.

Рекомендована література: [30–33].

Тема 6 а. Провести аналіз літературних даних щодо впровадження процесів пластичного деформування способами гідроформування і оцінити перспективу впровадження цих технологій для завдань промисловості регіону.

Тема 6 б. Провести аналіз літературних даних щодо переваг високоенергетичних процесів пластичного деформування і оцінити перспективу впровадження цих технологій для завдань в руслі дисертаційної теми.

Тема 7. Провести аналіз літературних даних щодо переваг можливостей процесів ізотермічного та надпластичного деформування й оцінити перспективу впровадження цих технологій для актуальних та спеціальних завдань промисловості.

ДОДАТОК Б

Питання для самоконтролю

1. Сучасні тенденції розвитку процесів обробки матеріалів в машинобудуванні.
2. Напрямки удосконалення ресурсозберігаючих процесів ОМТ.
3. Технології комбінованої обробки матеріалів.
4. Способи зниження силових параметрів обробки тиском.
5. Переваги технологій ТОШ перед ГОШ, литтям і обробкою різанням.
6. Технології ХОШ і об'ємного штампування видавлюванням.
7. Основні й допоміжні операції ХОШ
8. Схеми формозмінних операцій ХОШ: волочіння й пряме видавлювання.
9. Схеми формозмінних операцій ХОШ: об'ємне формування й редукування.
10. Класифікація способів холодного видавлювання.
11. Переваги і обмежуючі фактори поширення холодного штампування видавлюванням.
12. Схеми прямого видавлювання деталі. Формули для розрахунку ступеня деформації для даних схем деформування.
13. Схеми зворотного видавлювання деталі типу стакан.
14. Схеми радіального і бокового видавлювання деталі.
15. Схеми зворотного й прямого видавлювання деталей типу втулка із зовнішнім фланцем з пустотілої трубної заготовки.
16. Особливості процесів комбінованого видавлювання.
17. Основні етапи проектування технологічних процесів видавлювання.
18. Класифікація штампів для холодного видавлювання.
19. Умови роботи і вимоги до штампів для холодного видавлювання.
20. Штампи з роз'ємними і рухомими матрицями.

21. Типові конструкції штампів для порожнистих деталей.
22. Конструювання пуансонів і контрпуансонів для процесів холодного видавлювання.
23. Конструювання матриць для процесів холодного видавлювання.
24. Фактори, що впливають на енергосилові параметри процесів холодного об'ємного деформування.
25. Штмп з диференційованим затиском для різання прутка на заготовки.
26. Процеси локального деформування.
27. Торцева розкатка.
28. Спосіб сферорухомого штампування.
29. Поперечне-клинова прокатка.
30. Призначення процесів інтенсивного пластичного деформування (ПД).
31. Гвинтова екструзія.
32. Реверсивне кування.
33. видавлювання рідиною високого тиску (гідроекструзія).
34. Гідроформування трубчастих заготовок.
35. Гідромеханічне витягування порожнистих деталей.
36. Електрогідроімпульсне формування листового матеріалу.
37. Ізотермічна штамповка. Призначення і прикладі застосування.
38. Надпластична штамповка.

Навчальне видання

АЛІЄВ Іграмотдін Сєражутдінович

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

ПОСІБНИК

**для здобувачів третього освітньо-наукового рівня
вищої освіти за спеціальностями
131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство»,
136 «Металургія»
денної та заочної форм навчання**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання

О. Г. Малій

37/2024. Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 10,34.
Обл.-вид. арк. 12,16. Тираж 100 пр. Зам. № 34

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