

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В. М. Боков

ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ

Підручник для студентів вищих навчальних закладів III – IV рівнів
акредитації, що навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Кропивницький - 2021

Б78
УДК 621.735.043.016.3

Рецензенти:

В. І. Носуленко – доктор технічних наук, професор кафедри обробки металів тиском та спец-технологій Центральноукраїнського національного технічного університету;

В. В. Клименко - доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту Центральноукраїнського національного технічного університету

Рекомендовано вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету як підручник для студентів вищих навчальних закладів IV рівня акредитації, що навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка". Протокол № 11 від 29 червня 2021 року.

Б78 Боков В. М.

Технологія холодного штампування: підручник / В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Есклюзив-Систем», 2021. – 213 с.

ISBN 978-617-7942-10-7

Наведено основи технології листового та об'ємного холодного штампування. Розглянуто шляхи інтенсифікації процесів холодного штампування. Показано конструктивні елементи штампів та їх розрахунок.

Підручник для студентів вищих навчальних закладів IV рівня акредитації, що навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка".

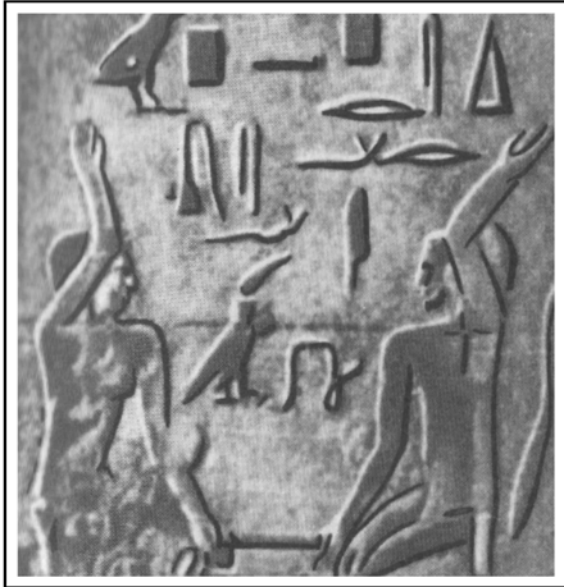
© Боков В. М.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Частина 1	
ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ	
	12
Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ	12
1.1. Матеріали для листового штампування	12
1.2. Оцінка штампованості листового прокату	15
Розділ 2. РОЗДІЛОВІ ОПЕРАЦІЇ	18
2.1. Види розділових операцій	18
2.2. Відрізування	21
2.3. Вирубання та пробивання	28
2.4. Чистове вирубання. Зачищення в штампах	35
2.5. Розкрій листового прокату	38
Розділ 3. ФОРМОЗМІННІ ОПЕРАЦІЇ	43
3.1. Види формозмінних операцій	43
3.2. Гнуття	46
3.3. Витягування	56
3.4. Відбортування, обтискування, роздавання	84
3.5. Рельєфне формування, правлення	95
3.6. Загортання, завивання, калібрування	98
Розділ 4. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ	101
4.1. Способи інтенсифікації формозміни заготовок	101
4.2. Імпульсні види листового штампування	105
4.3. Комбіновані та складальні операції	109
4.4. Загальні відомості про САПР технологічних процесів листового штампування	65
	111
Розділ 5. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТИПОВІ КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПІВ	115
5.1. Класифікація штампів	115
5.2. Загальна методика проектування	115
5.3. Вимоги щодо оформлення складального креслення штампа	115
5.4. Типові конструкції штампів	130
5.5. Нормалізовані та оригінальні деталі штампів	137
5.6. Розрахунок штампів	147
5.7. Техніка безпеки та екологічність листоштампувального виробництва	157
Частина 2	
ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ	
Розділ 6. ПІДГОТОВЧІ ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ	161
6.1. Принципові особливості процесів холодного об'ємного штампування	161
6.2. Підготовчі операції	162
6.3. Поняття про формозмінні операції	169
Розділ 7. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	178
7.1. Основні етапи формозміни	178
7.2. Штампувальні операції	179
7.3. Конструювання та розрахунок штампів	189
Розділ 8. МАШИНИ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ	195
8.1. Механічні вертикальні преси	195

8.2. Гідравлічні преси	196
8.3. Автомати для холодного висаджування	197
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ	204
ЛІТЕРАТУРА	206
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗЧИК	207

ВСТУП



Історія обробки металів тиском і розвиток способів виробництва

Ковальська справа – саме стародавнє ремесло, що пов'язано з металом [1]. Вперше людина почала кувати самородні та метеоритні метали ще в кам'яному віці. При цьому відносно малі *круглі камені* були за молоти, а *великі овальні* (масивні) – за ковадло. Мікроскопічні дослідження поверхні цих інструментів дозволили виявити залишки самородного металу. На рельєфах стародавніх храмів можна бачити ковалів, що працюють кам'яними молотками (рис. 1).

Рис. 1. Рельєф «Ковалі Стародавнього Єгипту»

Відомо, що стародавні ковалі більш ніж 5 тисяч років назад кували вироби із міді

для рибної ловлі та побуту: риболовні гачки, ножі, шильця та інші дрібні предмети.

В епоху розвинутого Трипілля (IV – III тисячоліття до нашої ери) в районі Молдови та Правобережній України по берегам рік Дніпра, Дністра та Прута знаходився один із стародавніх осередків обробки міді. В цей період майстра вже застосовували наклеп для зміцнювання поверхонь мідних знарядь, що значно підвищувало їх твердість. Це дозволило з часом витиснути кам'яні знаряддя. Вказаний період характеризується різновидом кованих, литих та комбінованих виробів, таких як ковальські зубила, ножі, бойові сокири, наконечники стріл, браслети, пряжки тощо.

На початку III тисячоліття до нашої ери племена, що мешкали на території Вірменії, на Кавказі вже отримували кричне залізо із руд шляхом прямого відновлення. Хетти не тільки виготовляли із заліза зброю та предмети побуту, але й торгували ними з Єгиптом та країнами Середнього Сходу.

На початку I тисячоліття до н. е. вироби із заліза починають виготовляти мешканці Закавказзя, в VIII віці до н. е. ковальське виробництво виробів із заліза вже широко розвивається в районі сучасного м. Керчі. Цікаво, що слово «керч» - староросійська назва коваля. Багаті залізні руди, що служили ковалям («керчиям» або «корчиям») сировиною для отримання заліза, в районі м. Керчі залягали практично на поверхні землі. В ті часи ковальське ремесло вже досягає високого рівня. В кузнях горн оснащувався двокамерними повітродувними міхами, в центрі розташовувалося залізне або бронзове ковадло. Ковалі застосовували при роботі важкі молоти, кліщі, зубила та сокири для рубки металу, а для затиснення виробів – лещата.

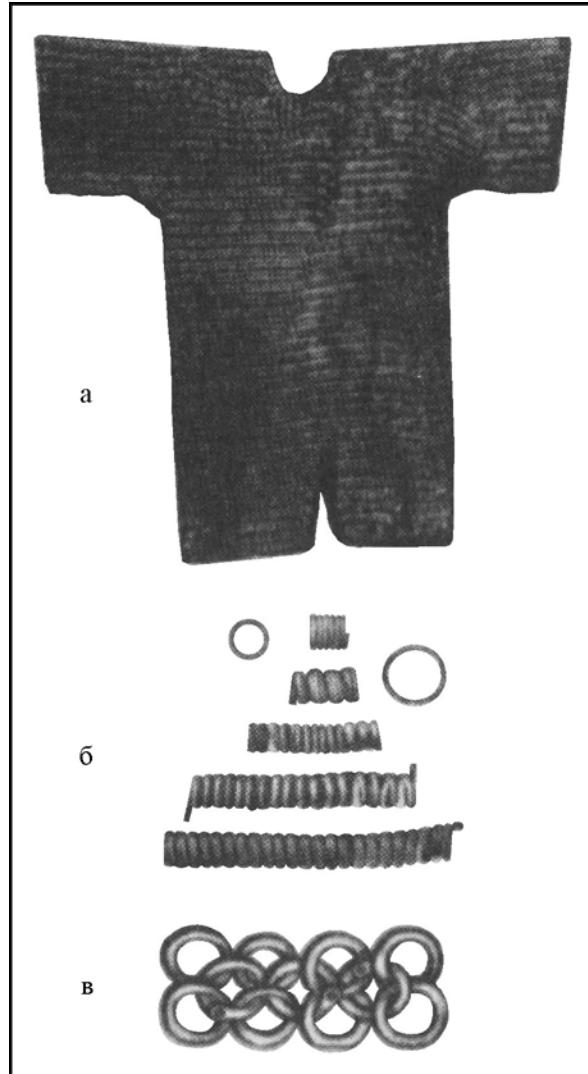
Починаючи з VII віку до н. е. центром металообробки становиться Скіфія, ремісничим центром якої було Каменське городище. Залізна руда добувалася на території сучасного Криворізьського басейну (60 км до Каменського городища). Поряд з литвом та куванням у скіфів було широко налагоджене виготовлення золотих та срібних прикрас та всякого посуду за допомогою карбування, штампування та литва по моделям, що виплавляються. Зразки скіфського ювелірного виробництва були відомі у грецьких колоніях. Ковалі Скіфії широко застосовували ковальське зварювання для підвищення розмірів заготовки, з'єднання різнорідних матеріалів з метою покращання якості лез ріжучих знарядь та знарядь, що рублять. Вони виготовляли ножі, у яких між двома більш м'якими пластинами заковувалася пластина з більш твердої сталі, внаслідок чого отримувалися ножі з лезами, що самозаточуються. Скіфські ковалі уміли кувати і «дамаські сталі», в яких «перемішувалися» шари заліза з високо-вуглецевою сталлю, що створювало на бічній поверхні виробу узор із темних та світлих смуг.

Опанування заліза потягло за собою великі зміни в культурному та господарському житті всіх народів – залізна сокира, плуг з залізним лемешем підвищили продуктивність землеробства. Приблизно в VIII віці н. е. на дерев'яні зуби сохи почали надівати залізні ковані наконечники – сошники.

К кінцю IX віку утворюються крупні військові та торгівельно-ремесничі центри, такі як Київ, Новгород-Великий, Смоленськ, Полоцьк та інші. В цей період спостерігається постійне удосконалення засобів виробництва та пристосування майстерень до масового випуску продукції. Розвивається міжнародна торгівля і як наслідок цього – спеціалізація ковалів. Тоді в Києві вже існувало більш 60 спеціальностей ковалів.

Однак більшість ковалів виготовляли зброю та кольчуги. Обов'язковою належністю захисної зброї у дружинників була кольчуга (рис. 2), яка не обмежувала в бою рухи та охороняла практично від усіх видів зброї. Виготовлення кольчуги – трудомістка справа, бо для плетіння треба було відкувати більш 40 тисяч кілець, а далі склепати їх спеціальними «цвяхами». Застосовувалася поточна технологія: спочатку відковували дріт, далі навивали на стрижень та рубили на окремі кільця. Кінці кожного кільця розплющували і в цих площадках пробивали отвори. А далі із тонкого дроту (0,8 мм) висаджували заклепки – «цвяхи» та після чого починали складання або «плетіння кольчуги». Уся робота тривала більш ніж три місяця. Використовувалися різні технології виготовлення кольчуг (з використанням ковальського зварювання, із суцільних кілець, з застосуванням кілець із міді, золота та срібла тощо).

Рис. 2. Кольчуга: а – загальний вид; б – навивання дроту на стрижень; в – спосіб з'єднання кілець



Для захисту голови дружинники носили *шоломи* (рис. 3). За технологією виготовлення шоломи поділялися на суцільно ковані та складені.

Велику увагу приділяли ковалі виготовленню бойової та нагородної зброї. Майстри-збройники досконало володіли секретами виготовлення мечів із високо-вуглецевих сталей типу *булат* або *харалуга*. Вперше в Росії з наукової точки зору почав вивчати булатні сталі **П. П. Аносов**. Ним

встановлено, що булат – високо-вуглецева сталь, що містить більше двох відсотків вуглецю та мінімальну кількість шкідливих домішок та неметалевих включень. Сталь вариться при високій температурі в тиглях без доступу повітря та охолоджується разом з пічкою. Відмінна особливість булатних зливків – на відполірованому зрізі має місце своєрідний візерунок, що проявляється при слабкому травленні.

Технологія виготовлення булатного клинка:

- кування булатного зливку (багаторазове витягування в штабу, перегинання та ковальське зварювання);
- термообробка: загартування (на сильному вітру, в мінеральному маслі, салі тощо); відпускання (в воді, в маслі, на повітрі);
- обробка на точильних каменях;
- поетапне шліфування із зменшенням зернистості каменя;
- полірування з використанням різних за крупністю порошоків та паст, а також тканин та дерева.

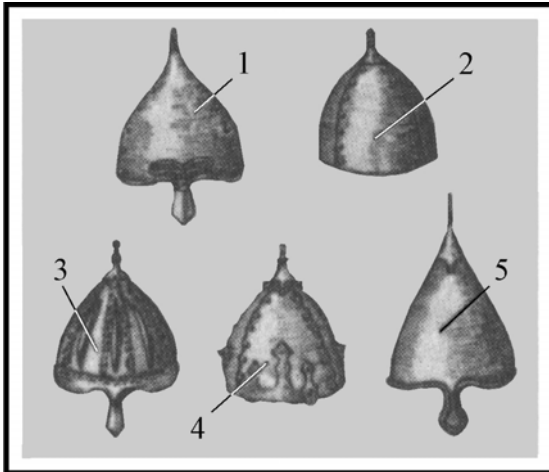


Рис. 3. Шоломи: 1, 2 – що складаються із двох і більше відкованих окремо частин; 3, 4 – з декоративними накладками; 5 – суцільноковані

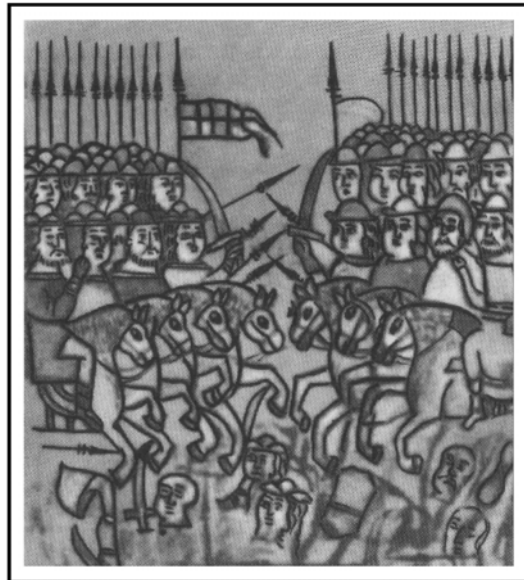
Слід відмітити, що процес шліфування та полірування тривав місяцями, а іноді і роками. Найбільш унікальні булатні вироби отримували ще й художнє оздоблення леза, рукоятки, яке тривало роками.

В період могутності Київської Русі будуються величні Софійські собори в Києві, Новгороді, Полоцьку, і ковалі приймають активну участь у будівництві: куються потужні в'язі – «тяжі» та пояси для скріплення стін, склепінь та арок, вікна закриваються решітками «дошок» парадні двері та ворота тощо. Міські

з красивими малюнками, складаються із металевих ковалі володіли еластичним штампування, при якому в спеціальних штампах з «еластичним середовищем» - свинцем, шкірою – виготовляли різні вироби із листового золота та срібла для прикрас одягу, зброї коня та інших предметів побуту.

На початку XIII віку територію сучасної України та Росії обрушилися багаточисельні полчища монголо-татарської орди. Ковалів було вбито або взято в полон. Однак, незважаючи на загальну руйнування та спустошення цієї землі, в другій половині XIV віку починається поступове її відродження. В 1380 році князь Дмитро Донський зібрав добре озброєне військо, дав бій на Кульковому полі (рис. 4). Ковалі «одягли» воїнів в надійну захисну зброю: кольчуги та шлеми; добре озброїли мечами, сокирами, луками, стрілами, що сприяло перемозі.

Рис. 4. Куліковська битва (із рукопису XVI віку)



В XVI віці продовжується розширюватися залізоробна промисловість, відкриваються нові рудні заклади.

В XVII віці залізне виробництво із селянсько-кустарного становиться промисловим:

- в 1631 році починає працювати перший завод на Уралі на річці Ніца;

- в 1632 – 1637 роках а місті Тулі підприємливим ковалем Микитою Демидовим було збудовано перший доменний завод: чотирьохметрова гребля, вододіючі молоти (рис. 5), дві високі домни, токарні та свердлильні верстати, що працювали від водяного приводу.

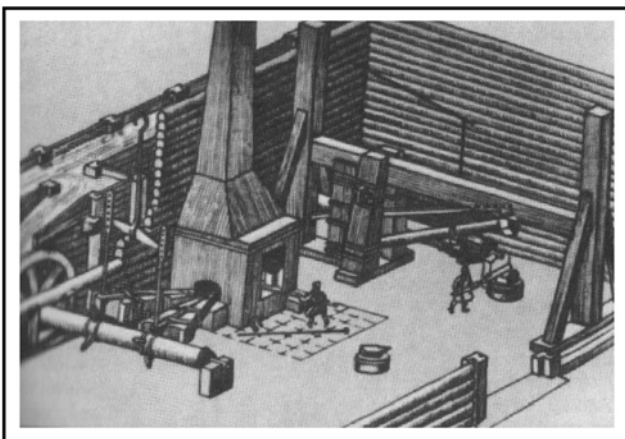


Рис. 5. Молотовий цех з водяними колесами

Великий вклад в розвиток науки про руди та металургію внесла праця М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763 рік).

З розвитком важкої промисловості, кораблебудування та артилерії існуюче обладнання в кінці XVIII віку вже не задовольняло технологічні потреби. В 1766 році була випробувана перша двохциліндрова парова машина Ползунова. Використовуючи принцип її дії Д. Уатт в 1784 році отримав патент на перший в світі паровий молот. Однак впровадження парових молотів в промисловість пов'язано з ім'ям англійського конструктора машин Д. Несміла, який в 1842 році побудував молот з масою падаючих частин 3 тони.

Вперше *існування зв'язку між будовою сталі та її властивостями* було встановлено П. П. Аносовим (1799 – 1839 роки).

На початку другої половини XIX віку на Обухівському та Перському заводах було встановлено надпотужні в світі молоти з масою падаючих частин до 50 тон. Пермський «цар-молот» (рис. 6) було зроблено в 1871-1875 роках по проекту талановитого російського інженера М. В. Воронцова (діаметр парового циліндру 2,13 м при товщині стінок 178 мм, діаметр штока 560 мм, найбільша висота підйому баби – 3,05 м, маса шабота – 635 тон).

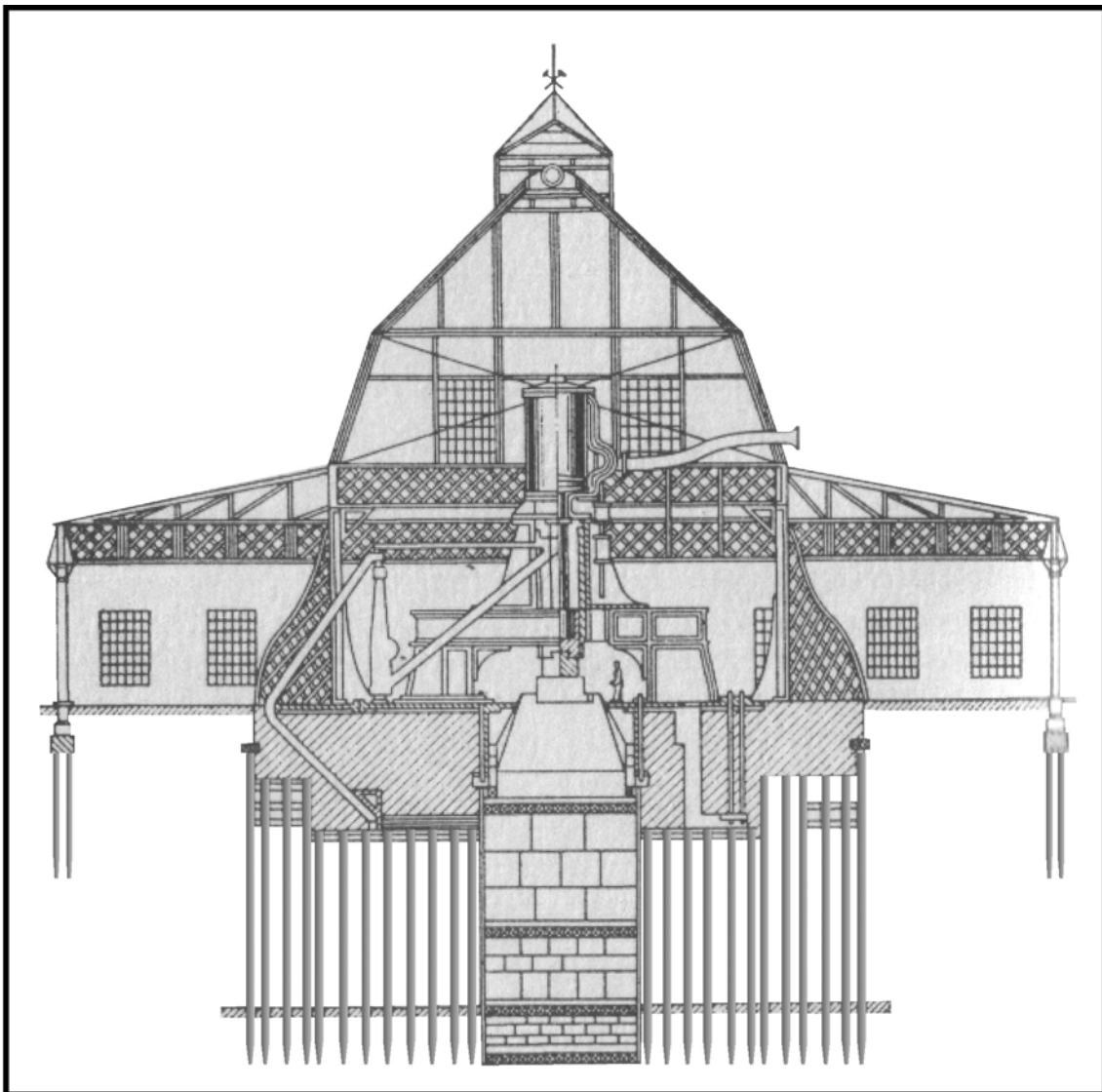


Рис. 6. «Цар-молот» мотовилихінського заводу (м. Перм)

Основи наукового металознавства були закладені видатним російським металургом Д. К. Черновим (1839 – 1921 роки), який за свої праці був названий «отцом металлографии».

Сучасний стан листового штампування

В основних галузях сучасної промисловості питома вага штампованих із листового прокату деталей складає 60...80 %, а при виготовленні речей широкого вжитку - 95...98 %. Це стало можливим за наступних причин:

- сучасна технологія листового штампування володіє великим арсеналом технологічних операцій, із яких десять розділових та дванадцять формозмінних. Крім того, з точки зору комбінування операцій, можливе послідовне, суміщене та послідовно-суміщене штампування. Більш того, за допомогою операцій листового штампування може здійснюватися складання деталей;

- штамп листового штампування – прогресивний інструмент. Він забезпечує високу продуктивність обробки і має сприятливі умови для механізації та автоматизації процесу штампування;

- парк сучасних пресів охоплює діапазон за номінальним зусиллям від декількох до 75 тисяч тон, що дозволяє штампувати вироби в широкому діапазоні за габаритними розмірами. Сучасні автоматизовані комплекси та преси з числовим програмним керуванням дозволяють: автоматизувати процес штампування від стрічки, мірної та штучної заготовки; штампувати деталі безпосередньо із листа, тобто без попереднього розкрою та без проектування і виготовлення штампів; автоматизувати процес розрахунку вихідної заготовки для гнуття та налагодження універсального оснащення.

Сьогодні для обробки листового металу використовуються наступні технології та обладнання:

- комплекси лазерного розкрою листового металу (рис. 7);



Рис. 7. Комплекс лазерного розкрою моделі Axel-S. Швидкість різання до 40 м/хв.

- координатно-пробивні преси (рис. 8);



Рис. 8. Координатно-пробивний прес EUROMAC з ЧПК моделі BX AUTOINDEX. Зусилля 30 кН

- гідравлічні листогнуттєві преси (рис. 9);



Рис. 9. Гідравлічний листогнуттєвий прес LVD PPEB з ЧПК

- гідравлічні гільйотинні ножиці (рис. 10);



Рис. 10. Гідравлічні гільйотинні ножиці LVD MVS 8/140. Довжина різа 14 м, товщина різа 8 мм. Програмне забезпечення ширини різу та кута нахилу ножів

- різання термічне [плазмове (рис. 10) та газокислородне] та гідроабразивне (рис. 11);



Рис. 11. Машина плазмового різання серії HS. При різанні сталі, товщиною 6 мм, на силі струму 130 А, швидкість різання складає 4025 мм/хв.

- швидкохідні високоточні преси (рис. 12);



Рис. 12. Однокривошипний (ліворуч) та двох кривошипний (праворуч) преси, відповідно серії SN1 та SN2, компанії SEY (Тайвань)

- системи обробки рулонного матеріалу (рис. 13) тощо.



Рис. 13. Лінія поздовжнього різання рулонного матеріалу компанії Red Bud Industries

Частина 1
ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ

Розділ 1
**ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ**

1.1. Матеріали для листового штампування

Листовий та рулонний прокат. Листовим штампуванням виготовляються вироби із металів (у вигляді листового та сортового прокату) і неметалевих матеріалів [2].

В машинобудуванні широко застосовують сталевий листовий і сортовий прокат та прокат із кольорових металів: міді, магнію, титану та їх сплавів. Менш широко використовуються шарові та волокнисті пластики (текстоліт, гетинакс та інші) та пластмаси гомогенної структури (оргскло, полістирол та інші). Однак в автомобільній та деяких інших галузях машинобудування об'єм випуску штампованих деталей із пластмас безперервно підвищується, що дозволяє знизити масу та металоемність продукції, що випускається.

Характеристики листового прокату регламентуються *стандартами на технічні умови (ТУ), хімічним складом та сортаментом.*

Листовий прокат випускається у вигляді *листів, стрічки та рулонів.* В залежності від способу виробництва він поділяється на *гарячекатаний та холоднокатаний.* Холоднокатаний прокат ($s \leq 4$ мм), порівняно з гарячекатаним, має меншу шорсткість поверхні, різновощинність та більш високі технологічні властивості. Він широко використовується для виготовлення холодноштампованих деталей. Із гарячекатаного прокату методами листового штампування виготовляють переважно різні неглибокі та плоскі деталі.

В машинобудуванні основну масу холодноштампованих деталей (в тому числі автокузовні деталі) виготовляють із тонколистових вуглецевих якісних та низьколегованих листових сталей (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Основні види листової сталі

Сталь (прокат)	ГОСТ на:		Марка сталі
	технічні умови	хімічний склад	
Вуглецева звичайної якості $s = 0,5...4,0$ мм	380-71	380-71	Ст0...Ст6
Листова вуглецева якісна та звичайної якості загального призначення $s = 0,2...3,9$ мм	1653-70	1050-90	05кп...50
Прокат тонколистовий із конструкційної низьколегованої сталі $s = 0,5...3,9$ мм	17066-80	1928-79	14Г2, 09Г2, 12ГС, 16ГС, 15ГФ, 14ХГС та інші
Прокат тонколистовий холоднокатаний із мало вуглецевої якісної сталі для холодного штампування $s = 0,5...3,0$ мм	9045-80	9045-80	08Ю, 08пс, 08кп
Листова легована конструкційна загального призначення $s = 0,5...3,9$ мм	1542-71	1050-90	60Г, 20Х, 10Г2, 25ХГСА та інші
Тонколистова корозійностійка, жаростійка та жароміцна $s = 0,7...3,9$ мм	5582-82	5632-72	08Х13, 12Х13, 12Х17, 12Х18Н9Т та інші

Крім того, випускаються:

- *сталі підвищеної міцності*, що леговані марганцем, кремнієм, та мікродомішками титану та ванадію: 08ГСЮТ, 08ГСЮФ, 07ГСЮФ ($s = 0,7...2,5$ мм). Вони мають межу текучості до 300 МПа, межу міцності до 410 МПа та відносне подовження до 30...34 %. Їх застосовують переважно в автомобілебудуванні;

- *холоднокатані двофазні сталі з феритно-мартенситною структурою* (ДФМС), що містять до 20...25 % твердої фази мартенситу в пластичній феритній матриці: 03СПЮ, 03СПГЮ, 06ХГСЮ, 06Г2СЮ ($s = 0,7...2,0$ мм). Вони мають низьке відношення межі текучості σ_m до межі

міцності σ_s ($\sigma_m / \sigma_s = 0,6 \dots 0,65$), високий показник деформаційного зміцнення n та нормальної анізотропії R^* ($n = 0,21 \dots 0,25$ та $R^* = 1,1 \dots 1,6$), широкий діапазон зміни межі міцності ($\sigma_s = 400 \dots 550$ МПа), що свідчить про придатність їх для виготовлення холодноштампованих деталей складної форми. Крім того, при штампуванні цих сталей відбувається підвищення міцності. Наприклад, якщо у вихідній заготовки $\sigma_m = 280$ МПа, а $\sigma_s = 550$ МПа, то після холодної пластичної деформації на 25 % підвищилися σ_m та σ_s ($\sigma_m \geq 650$ МПа, а $\sigma_s \geq 800$ МПа).

Використання листового прокату підвищеної міцності и ДФМС дозволяє знизити масу ряду машин, в тому числі вантажних та легкових автомобілів, на 10...15 % шляхом зменшення товщини кузовних та інших деталей складної форми.

До переваг низьколегованих сталей слід віднести також те, що вони мало піддаються деформаційному старінню. Це дуже важливо при тривалому їх зберіганні на складі або в цеху.

Леговані сталі (хромисті та хромонікелеві корозійностійкі) мають задовільну штампованість в відпаленому стані, так як характеризуються високим відносним подовженням та сприятливим для штампування відношенням σ_m / σ_s (сталь 12X18H9T - $\sigma_s = 550$ МПа, $\sigma_m = 200$ МПа, $\delta = 40$ %).

Відмінною особливістю корозійностійких сталей порівняно з низькоуглецевими – високій опір деформуванню та інтенсивне зміцнення в процесі холодного штампування. Ці сталі застосовують в турбобудуванні, в хімічному машинобудуванні, з них виготовляють предмети народного вжитку (пральні машини, посуд).

Для окремих галузей промисловості виготовляють сталевий листовий прокат спеціального призначення:

- прокат із низькоуглецевої відпаленої та протравленої (декапірованої) сталі для виробництва емальовального посуду;
- прокат із тонкої відпаленої углецевої сталі: жерсть чорна для виготовлення суцільноштампованої і складеної тари.

Все більш широке застосування знаходить двошаровий та тришаровий листовий прокат (біметал) з основним шаром із углецевої або низьколегованої сталі та шаром, який плакує із міді, латуні, алюмінію, цинку, олова, свинцю або корозійностійких сталей та сплавів, нікелю і монель-металу. Останній шар складає 10...25 % від загальної товщини листа. Цей листовий прокат застосовується в автотракторній, електротехнічній та радіоелектронній промисловості. До числа тришарових металів можна віднести:

- прокат оцинкований для виробництва виробів народного споживання та покриття дахів;
- прокат освинцьований для виготовлення паливних баків;
- прокат, що покритий тонким шаром олова – білу жерсть гарячого електролітичного лудіння для консервного виробництва;
- антифон – матеріал, що складається із двох клеєних між собою тонких листів, який застосовується для шумоізоляції;
- металопласт – труби, що покриті пластмасою (антикорозійне та декоративне покриття);
- листовий корозійностійкий прокат: сталь 12X18H10 ($s = 0,1 \dots 0,15$ мм) – сталь Ст3 ($s \gg 0,15$) - сталь 12X18H10 ($s = 0,1 \dots 0,15$ мм). Строк служби с/г машин підвищується до 10 років.

Листовий прокат із кольорових металів та сплавів на їх основі володіє високою корозійною стійкістю, теплопровідністю, малим електричним опором (мідь, латунь, алюміній), малою густиною (алюміній, та його сплави, титанові та магнієві сплави) та високою питомою міцністю (титан). Галузь їх використання – велика. Промисловість випускає листовий прокат із:

- алюмінію та його сплавів марок А2, А3, АМц, АМг2, АМгц6, Д1, Д16, В95, ВАД23;
- міді марок М1, М2, М3 та інших;
- латуні марок Л68, Л63, ЛС59-1 та інших;
- нікелю та його сплавів марок НКО, НМг, НВ3 та інших;
- магнієвих сплавів марок МА1, МА5, МА8 та інших;
- титанових сплавів марок ВТ1, ВТ3-1, ВТ6-С, ВТ8, ВТ9, ВТ10, ВТ14, ОТЧ-1 та інших.

Дані сплави широко застосовуються в космічній, авіаційній, приладобудівній, електротехнічній, електронній та в інших галузях промисловості, а також для виготовлення товарів народного споживання (посуду, годинників, радіоапаратури, пральних машин тощо).

Сортамент сталевого листового прокату. Розміри листового прокату та межові відхилення цих розмірів регламентуються стандартами в діапазоні:

- товщина: 0,2 ... 200 мм;
- ширина: 500...2200 мм;

- довжина: 1200...12000 мм.

Ширина сталевих листів товщиною до 3,9 мм, що постачається в *рулонах*, змінюється в межах від 500 мм до 1700 мм.

Крім того, сталь постачається в вигляді стрічки в діапазоні розмірів:

- товщина: 0,05...4,0 мм;

- ширина: 4...600 мм.

Застосування рулонів та стрічки дозволяє автоматизувати процес штампування, підвищити продуктивність праці, підвищити ефективність використання металу за рахунок зменшення кінцевих відходів.

Більш того, постачається сталь прокатна широкоштабова універсальна в діапазоні розмірів:

- товщина: 6...60 мм;

- ширина: 200...1050 мм;

- довжина: 5000...12000 мм.

Зміна властивостей листової сталі в процесі обробки та з часом. Холодне штампування викликає зміну властивостей листової сталі. В наслідок холодної пластичної деформації різко підвищується густина дефектів кристалічної будови, метал зміцнюється, змінюється форма зерен металу та орієнтування кристалографічних осей, виникають залишкові напруження, з'являються смуги ковзання, активується процес старіння металу.

Деформаційне старіння. Ефект старіння металу проявляється в зниженні характеристик пластичності (наприклад, відносного подовження) та підвищенні характеристик міцності (межі міцності, межі текучості, твердості). В наслідок старіння метал становиться менш пластичним, крихким. Схильність до деформаційного старіння залежить від вмісту в сталі вільного азоту та у меншій мірі вуглецю, в твердому розчині (фериті). В процесі старіння атоми азоту та вуглецю дифундують та накопичуються в деформованих ділянках кристалічної решітки навколо дислокацій, що гальмує переміщення дислокацій та утрудняє процес пластичної деформації. Деформаційне старіння протікає нерівномірно, в першу чергу підвищується твердість металу в місцях з більш високою концентрацією атомів азоту та вуглецю і, головним чином, на плоскостях ковзання, де особливо багато дислокацій.

Нестаріючі сталі: 08Ю, 08кп, 08СЮФ та інші. В даних сталях атоми азоту зв'язані в стійкі нітриди.

Смуги ковзання. Це фізичні сліди локальної пластичної деформації. Вони з'являються на поверхні, головним чином, неглибоких деталей, що отримані штампуванням з малою ступеню деформації, менш 5...10 %. Поява смуг ковзання пов'язано з нерівномірністю механічних властивостей заготовки, викликану деформаційним старінням, в наслідок чого на її поверхні в процесі штампування з'являються виступи та впадини у вигляді смуг, що отримали назву «смуг ковзання». Для запобігання появи смуг ковзання безпосередньо перед штампуванням виконують невелике обтиснення листової сталі за товщиною у межах 0,8...2,0 %. Холодне прокатування з малим обтискуванням має назву *дресировки*. Після дресировки для усунення коробоватості застосовують правлення на спеціальній багато валкової машині. В загальному випадку після правлення характеристики міцності металу підвищуються, а характеристики пластичності знижуються, що приводить до погіршення штампованості. Але при вельми малих відносних обтискуваннях (1,5...2,0 %) спостерігаються інші явища: характеристики міцності знижуються (за виключенням твердості, яка зростає), а характеристика пластичності δ – підвищується. Крім того, на діаграмі розтягу площадки текучості не спостерігається, тобто зникає характерна ознака появи смуг ковзання.

В наслідок малих обтисків сталевого листа в холодному стані дислокації відриваються від атомів азоту та вуглецю, а також відбувається утворення нових дислокацій. Це власне і знижує опір деформуванню кристалітів за плоскостями ковзання, приводить до більш рівномірного розподілу напружень за товщиною листа, внаслідок чого течія металу починається при менших зусиллях, чим це спостерігалось до дресировки. Необхідно пам'ятати, що після дресировки з часом деформаційне старіння інтенсифікується. *То треба швидко штампувати деталь після дресировки!*

Корозійне розтріскування. В процесі холодної пластичної деформації відбувається зміцнення металу, яке, в числі інших явищ, приводить до зниження опору металу корозії. Прикладом може бути цвях, що знаходиться у вологому середовищі, у якого спочатку покриваються ржею пластично деформовані головка та вістря, а потім вже стержень.

Разом з цим, в заготовці після знімання навантаження виникають мікро-напруження першого роду, які при наявності ослаблених міжкристалічною корозією граничних зв'язків зерен можуть визвати крихке спонтанне розтріскування металічних виробів. Корозійне розтріскування латунних деталей (наприклад, гільз) спостерігається найбільш частіше весною та восени, коли в повітрі підвищено зміст вологи та парів аміаку (стимуляторів міжкристалічної корозії). Це «сезонне розтріскування» або «сезонна хвороба». Боротьба з нею: нагрівання до температури 300...500 °С з подальшим повільним охолодженням.

Неметалеві матеріали. В теперішній час випускається більше 100 марок шарових та волокнистих пластмас. Неметалеві листові матеріали, що обробляються штампуванням, можна поділити на чотири основні групи:

I група. Пластмаси, шарові та волокнисті пластики (гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, асботекстоліт та інші) та термопластики гомогенної (однорідної) структури (органічне скло, полістирол, вініпласт, вініпроз, целулоїд та інші);

II група. Матеріали на основі паперу та гуми (гума, картон, ебоніт, фібра, а також натуральна та штучна шкіра, волок, фетр, лакотканини та інші);

III група. Матеріали мінерального походження (азбест, слюда, та матеріали на їх основі: параніти, міканіти та інші);

IV група. Комбіновані матеріали складної композиції (метал-пластмаса, метал-азбест-гума, фольговані шарові пластики для виготовлення друкарських плат, гетинакси, азбосталеві листи, склотекстоліт, що армований металевією дровою сіткою, металопласти та інші).

1.2. Оцінка штампованості листового прокату

Технологічне деформування – основний показник придатності металу, призначеного для виготовлення холодно-штампованих деталей, який характеризує здатність металу змінювати свою форму при обробки тиском без порушення суцільності. Технологічне деформування включає два поняття:

- *штампованість* – порівнювальна узагальнена характеристика, що відбиває можливість пластичної обробки металу до потрібної ступені деформації. Вона залежить від якості та фізичного стану металу;

- *допустима формозміна* – характеристика, що залежить не тільки від штампованості, але й від умов штампування, відносних розмірів та форми деталі, її технологічності, складу технологічного процесу, сил контактного тертя, конструкції штампів та їх технічного стану, зазорів між робочим інструментом, штампувального обладнання тощо.

При доброму технологічному деформуванні виробничий процес відбувається стабільно, відсутній брак, якість деталей висока.

Існуючі методи оцінки штампованості металу поділяються на:

- фізико-хімічні випробування;
- механічні випробування;
- технологічні випробування (проби);
- статистичні та експериментально-розрахункові дослідження.

Фізико-хімічні дослідження. Фізико-хімічні випробування металу включають хімічний аналіз та металографічні дослідження.

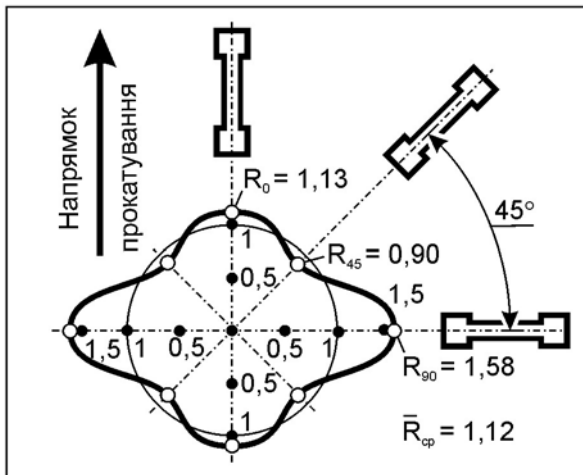
За допомогою *хімічного аналізу* встановлюють відповідність хімічного складу металу вимогам стандартів, а також причини браку.

За допомогою *металографічних досліджень* визначають розмір зерна фериту, об'єм неметалевих включень та структурний стан металу. *Збільшене зерно* приводе до зниження штампованості, появи шорсткої поверхні (апельсинової корки) на деформованих ділянках, руйнування деталі після глибокого витягування. *Зменшене зерно*, порівняно з оптимальним, приводе до зростання опору деформуванню, збільшенню пружних деформацій, що впливають на точність розмірів штампованих деталей, підвищенню зносу робочих поверхонь інструмента. Дослідження проводять за спеціальною методикою при збільшенні а 100 разів. *Неметалеві включення* розташовуються по кордонам зерен металу і це суттєво знижує його штампованість. Штампованість листового металу суттєво залежить не тільки від вмісту вуглецю, але й від його *структурного стану*, включень цементиту та будови перліту.

Механічні випробування. При випробуванні на розтяг встановлюють відповідність характеристик механічних властивостей металу вимогам стандартів на технічні умови поставки. Наявність площадки текучості на діаграмі розтягу вказує на схильність металу до старіння та утворенню смуг ковзання.

Для оцінки штампованості листового металу, що застосовують для штампування складних за формою та глибоких деталей, крім характеристик *механічних властивостей*, що передбачено технічними вимогами (σ_b , σ_m , δ та інших), допускається визначення *коефіцієнта нормальної пластичної анізотропії* R^* , показника *деформаційного зміцнення* n , *відносного рівномірного подовження* δ_p .

Коефіцієнт нормальної анізотропії R^* визначають за результатами випробувань на розтяг (рис. 1.1). Він являє собою відношення логарифмічної деформації за шириною ϵ_s до деформації за товщиною зразка ϵ_s на ділянці рівномірної деформації ($\delta_p = 15...20\%$) у вибраному напрямку прокатування:



$$R^* = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_s} = \frac{\ln(b_0/b)}{\ln(s_0/s)}$$

Рис. 1.1. Крива зміни коефіцієнта нормальної анізотропії в різних напрямках відносно напрямку прокатування

При рівності деформацій за шириною та товщиною $R^* = 1$, а метал ізотропний.

Показник деформаційного зміцнення n визначають за результатами випробувань на розтяг:

$$n = \epsilon_p = \ln(l_p/l_0) = \ln(1 + \delta_p)$$

Добра штампованість листової сталі спостерігається коли $R^* \geq 1,2...1,7$ та $n \geq 0,2$.

Випробування на твердість виконують для орієнтовної оцінки ступені зміцнення металу. Вони засновані на припущенні, що між твердістю деформованого металу, інтенсивністю напружень та деформацій існує однозначна залежність. За результатами випробувань на одноосний розтяг, стиснення, розтяг з крученням та інших будують таровані діаграми в осях: $\sigma_i - HV - \epsilon_i$ (HV – число твердості за Віккерсом). Випробування на твердість є не руйнуючим методом контролю.

Технологічні випробування (проби). Технологічні випробування застосовуються для визначення межової ступені деформації металу в умовах, що моделюють різні операції холодного штампування: вирубування, гнуття, витягування, роздавання, формування, осаджування та інші.

Випробування на вирубування-пробивання. Їх проводять з метою визначення умовного напруження зрізу, що являє собою відношення максимального зусилля вирубування-пробивання до площі поверхні розділення

$$\sigma_z = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

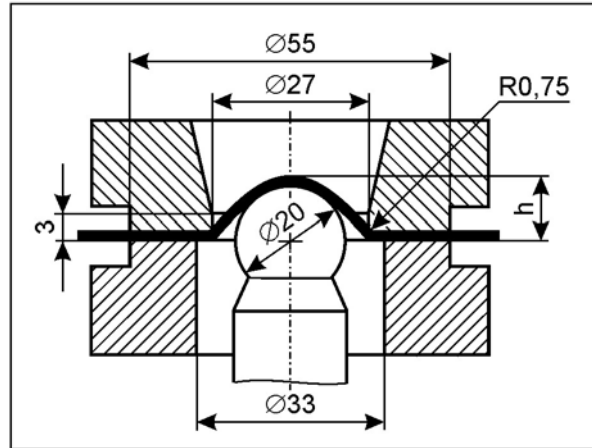
Крім того, визначають глибину впровадження пуансона в метал до моменту появи сколюючої тріщини в зоні руйнування (висоту блискачочого пояску i). Випробування виконують в спеціальному штампі для вирубування круга діаметром ~ 32 мм, який оснащений сило вимірювальним устроєм, при оптимальному зазорі між пуансоном і матрицею. Чим більша висота i , тим метал більш пластичний; чим більш міцність металу, тим σ_z більше, а стійкість інструмента нижче.

Випробування на перегин та вигин. Метал у вигляді листа або стрічки випробують на перегин. Для цього штабку металу визначеної ширини закріплюють в спеціальному пристрої та проводять багатократний подвійний перегин на 180° до моменту руйнування. Число подвійних перегинів до появи тріщини є характеристикою цього виду випробування.

Листовий метал також випробують на вигін до визначеного кута щільно або до торкання сторін зразка, тобто до паралельності його сторін. Вигляд вигину залежить від якості металу та його товщини. Якщо після випробування на вигін на зразку не виявлено тріщин, вважається, що зразок випробування витримав.

Випробування на глибину формування лунки. Воно було запропоноване шведським інженером А. Еріксоном. Випробування використовують при оцінці штампованості листового прокату товщиною від 0,2 до 2,0 мм. Випробування ґрунтується на формуванні сферичним пуансоном лунки в зразку, що міцно затиснутий між матрицею та притискним кільцем (рис. 1.2).

Рис. 1.2. Схема випробування на глибину формування лунки за А. Еріксоном



Випробування проводиться на машині-приладі моделі МТЛ-10Г, що реєструє зусилля формування лунки та зусилля притиску заготовки (10 кН). Заготовка у вигляді штаби повинна мати ширину 90 мм, а діаметр пуансона - 10 або 20 мм. Деформація заготовки відбувається внаслідок зменшення товщини заготовки. Мірою випробування є глибина лунки h , мм в момент зменшення (спаду) зусилля, що деформує. Характер руйнування та якість поверхні лунки дозволяють судити про штампованість металу: розрив лунки за дугою вказує на ізотропність металу; прямолінійний розрив свідчить про анізотропію металу, хвилясту структури або про наявність дефектів прокатування; чиста гладка поверхня лунки характеризує дрібнозернисту структуру, шорстка – свідчить про крупнозернисту структуру металу. Випробування проводять з метою встановлення категорії листової сталі по ГОСТ (ДОСТ): Г – глибока; ВГ – вельми глибока; СВ – складне витягування; ОСВ – особливо складне витягування; ВОСВ – вельми особливо складне витягування. Чим більше глибина лунки, тим вище категорія сталі. У листовій сталі 08 та 10 (в залежності від товщини та категорії) глибина лунки знаходиться у межах від 9 до 12 мм.

Слід відмітити, що в Україні та за кордоном ведуться дослідження щодо визначення критеріїв оцінки штампованості металу на основі теорії пластичності, а також за результатами статистичного аналізу експериментальних даних. Одне із них – визначення ресурсу пластичності на базі теорії пластичної течії металу в сполученні з результатами виміру чарунок деформованої сітки, що попередньо нанесена на заготовку.

Розділ 2 РОЗДІЛОВІ ОПЕРАЦІЇ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

2.1. Види розділових операцій

Розділові операції широко використовуються в холодно-штампувальному виробництві [3]. За їх допомогою здійснюється розрізування листового прокату на штаби, та рулонів на стрічки, розрізування сортового прокату на заготовки, вирубання різних за формою плані заготовок та деталей, пробивання отворів, обрізування відходу тощо. Нижче наводяться визначення та схеми основних розділових операцій холодно штампування.

Відрізування – технологічна операція холодно штампування для повного відділення частини заготовки за незамкнутим контуром зсувом (рис. 2.1).

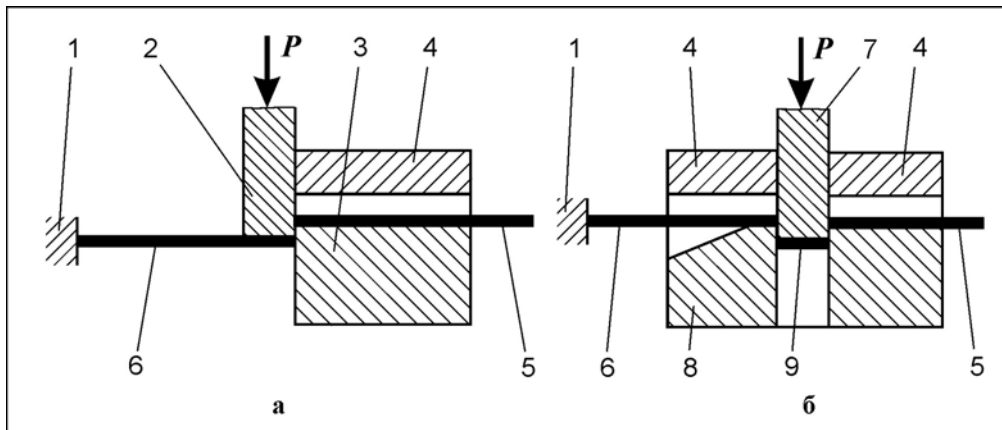


Рис. 2.1. Схеми операції відрізування: а – безвідхідне відрізування; б – відрізування з відходами; 1 – передній упор; 2 – рухомий односторонній ніж; 3 – нерухомий односторонній ніж; 4 – жорсткий знімач; 5 – штаба, стрічка; 6 – заготовка, що відрізнена; 7 – рухомий двобічний ніж; 8 – нерухомий двобічний ніж (матриця); 9 – відхід

Вирубання - технологічна операція холодно штампування для повного відділення заготовки або виробу від вихідної заготовки за замкнутим контуром зсувом (рис. 2.2).

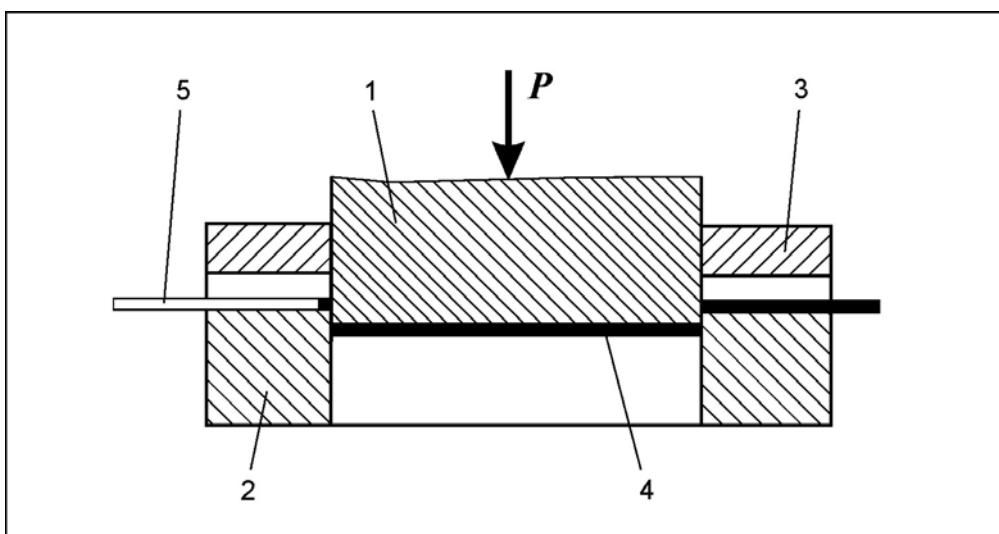


Рис. 2.2. Схема операції вирубання: 1 – вирубний пуансон; вирубна матриця; 3 – жорсткий знімач; 4 – деталь (заготовка), що вирубана; 5 – штаба (стрічка)

Пробивання - технологічна операція холодного штампування для утворення в заготовці отвору або пазу зсувом із вилученням частини матеріалу у відхід (рис. 2.3).

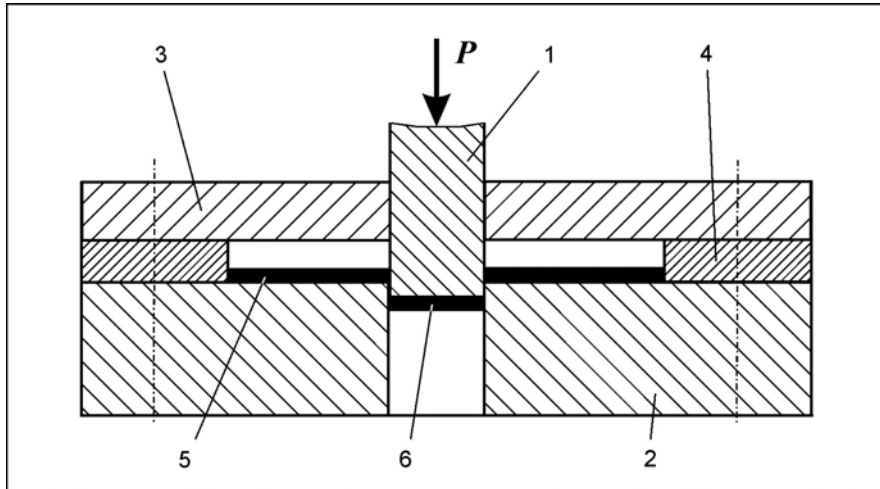


Рис. 2.3. Схема операції пробивання: 1 – пробивний пуансон; 2 – пробивна матриця; 3 – жорсткий знімач; 4 – упор (графарет); 5 – заготовка, що пробивається; 6 – відхід від пробивання

Обрізування - технологічна операція холодного штампування для вилучення в відхід надлишків металу зсувом за замкнутим та незамкнутим контуром (рис. 2.4).

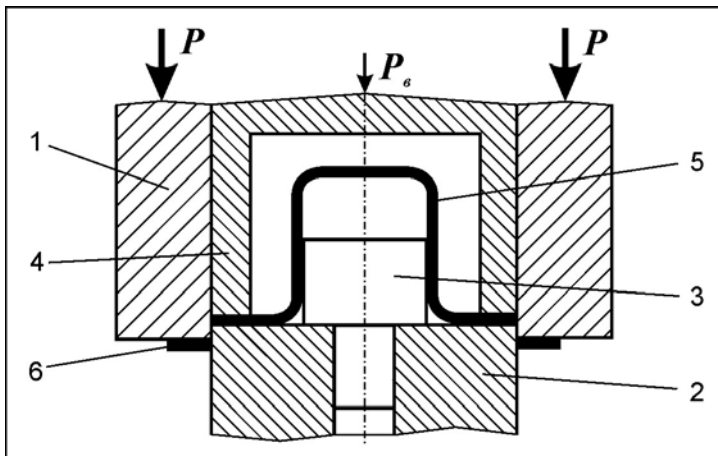


Рис. 2.4. Схема операції обрізування:

- 1 – верхній рухомий ніж;
- 2 – нижній нерухомий ніж;
- 3 – упор (оправка);
- 4 – виштовхувач;
- 5 – заготовка, що обрізується;
- 6 – відхід від обрізування

Розрізування - технологічна операція холодного штампування для поділу заготовки на частини за незамкнутим контуром зсувом (рис. 2.5).

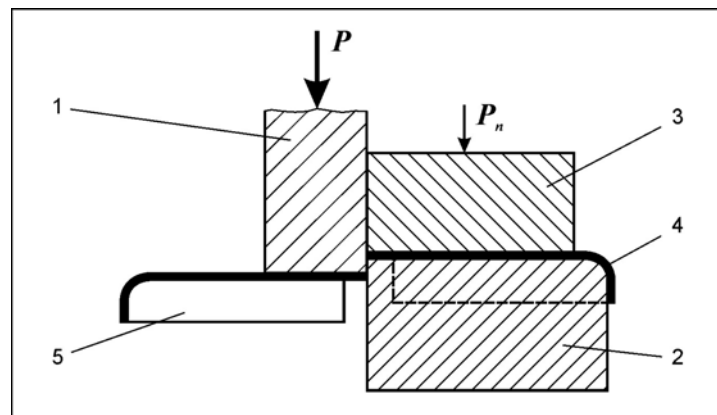


Рис. 2.5. Схема операції розрізування:

- 1 – ніж рухомий;
- 2 – ніж нерухомий;
- 3 – притискач;
- 4 – деталь I;
- 5 – деталь II

Надрізування - технологічна операція холодного штампування для неповного відділення частини заготовки зсувом (рис. 2.6).

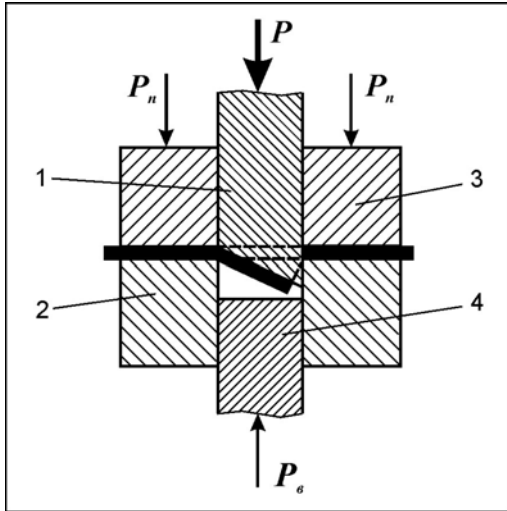


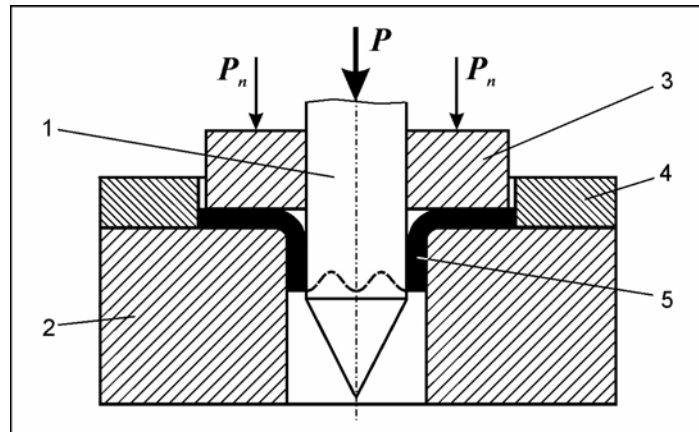
Рис. 2.6. Схема операції надрізування:

- 1 – пуансон;
- 2 – матриця;
- 3 – притискач;
- 4 – виштовхувач

Проколювання - технологічна операція холодного штампування для утворення у заготовці малого отвору ($d < 10$ мм) без вилучення металу у відхід (рис. 2.7).

Рис. 2.7. Схема операції проколювання:

- 1 – пуансон;
- 2 – матриця;
- 3 – притискач;
- 4 – упор (трафарет);
- 5 – деталь після проколювання



Зачищення - технологічна операція холодного штампування для вилучення технологічних припусків з утворенням та без утворення відходу (стружки) для підвищення точності розмірів та зменшення шорсткості заготовки, що штампується (рис. 2.8).

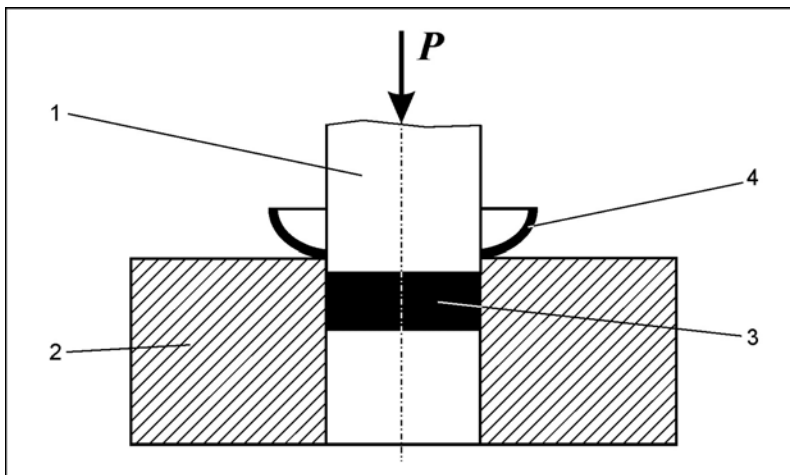
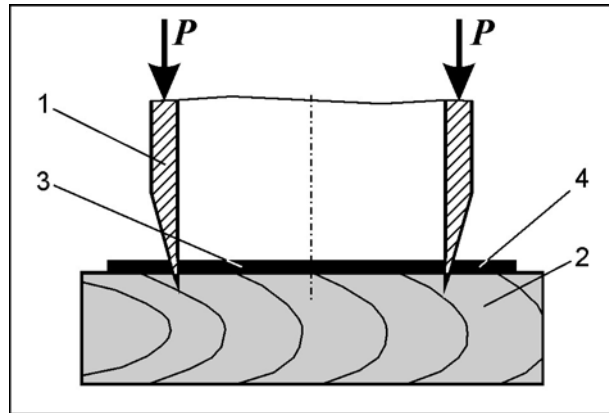


Рис. 2.8. Схема операції зачищення:

- 1 – пуансон;
- 2 – матриця;
- 3 – заготовка після зачищення;
- 4 – відхід (стружка)

Висікання - технологічна операція холодного штампування для повного відділення заготовки або виробу за замкнутим контуром впровадженням інструмента у матеріал вихідної заготовки (рис. 2.9).

Рис. 2.9. Схема операції висікання:
 1 – ножова матриця;
 2 – підкладна дерев'яна плита (пуансон);
 3 – заготовка після висікання;
 4 - відхід



Просікання - технологічна операція холодного штампування для утворення отвору у заготовці методом занурення в неї інструмента з вилученням частини матеріалу у відхід (рис. 2.10).

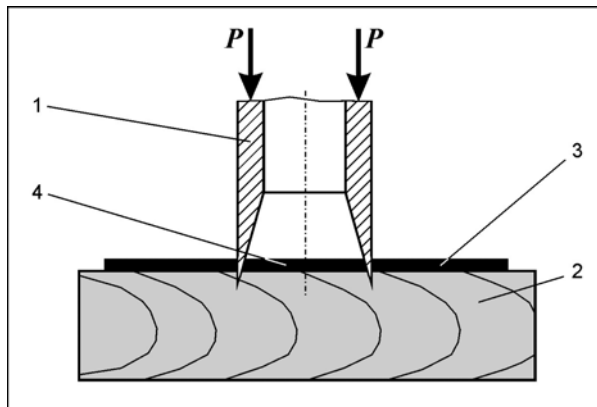


Рис. 2.10. Схема операції просікання:
 1 – ножовий пуансон;
 2 – підкладна дерев'яна плита (матриця);
 3 – заготовка після просікання;
 4 - відхід

2.2. Відрізування

Механізм відрізування, оптимальний зазор, схема дії сил, стадії відрізування. Операція відрізування виконується за допомогою спеціальних (листових чи комбінованих) ножиць або штампів. Робочі органи – ножі в процесі відрізування впроваджуються в метал, пластично деформують його до повного відокремлення однієї частини від іншої. Ножі встановлюються з деяким зазором z . Саме тому при відрізуванні виникає обертальний момент M , що дорівнює добутку сили різання P на плече, трохи більше, ніж зазор z між ножами

$$M = a \cdot P \cdot l,$$

де $a \geq 1$.

Обертальний момент викликає поворот заготовки, що відрізається та викликає виникнення реакцій N на бічних поверхнях ножів (рис. 2.11). Для усунення можливості повороту листа в процесі відрізування передбачено притискний пристрій, що створює силу притиску Q . Значення бічних реакцій N складають: при відрізуванні без притиску листа $N = 0,18 \dots 0,35$, при відрізуванні з притиском $N = 0,1 \dots 0,2$ від зусилля P , що деформує. Під дією реакцій N зазор між ножами z збільшується, що погіршує якість поверхні зрізу, знижує точність розмірів деталі. Установлення у штампі протилежного притиску (рис. 2.12, б) усуває можливість збільшення зазору.

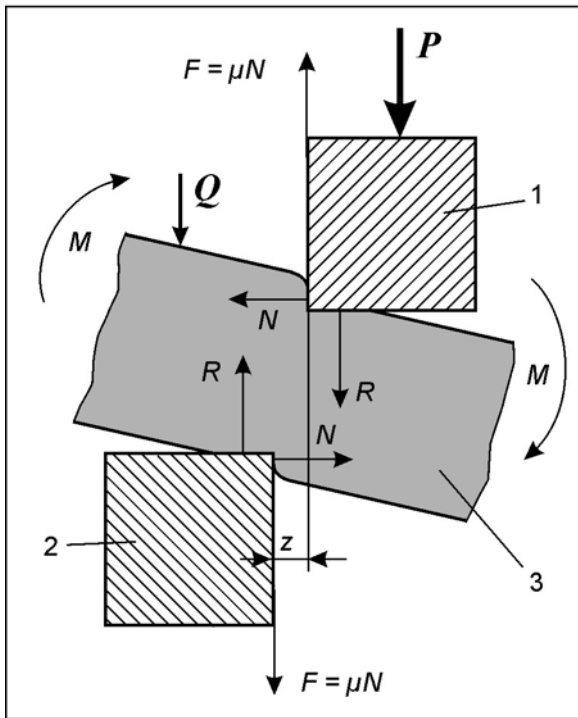


Рис. 2.11. Схема дії сил при відрізуванні: 1 – ніж рухомий; 2 – ніж нерухомий; 3 – заготовка

Процес відокремлення однієї частини металу від іншої відбувається в три стадії (рис. 2.13):

- на початку *першої стадії* відрізування пластична деформація зосереджена біля робочих краєвих ножів. В міру змикання ножів вогнища пластичної деформації збільшуються і врешті-решт зникаються (рис. 2.13, а);

- *друга стадія* починається при незворотному зміщенні однієї частини листа відносно іншої (рис. 2.13, б). В цей момент утворюється гладка блискуча поверхня, що згладжена силами тертя, які спрямовані уздовж бічної поверхні ножів;

- в міру змикання ножів ступінь деформації збільшується і коли ресурс пластичності буде вичерпаний, почнеться *третьою стадією* відрізування – поява тріщин сколювання та руйнування металу, яке завершується відокремленням однієї частини

листа від іншої (рис. 2.13, в). Руйнування металу (сколювання) випереджає впровадження робочих краєвих ножа в лист, тому тріщини називають випереджаючими тріщинами сколювання.

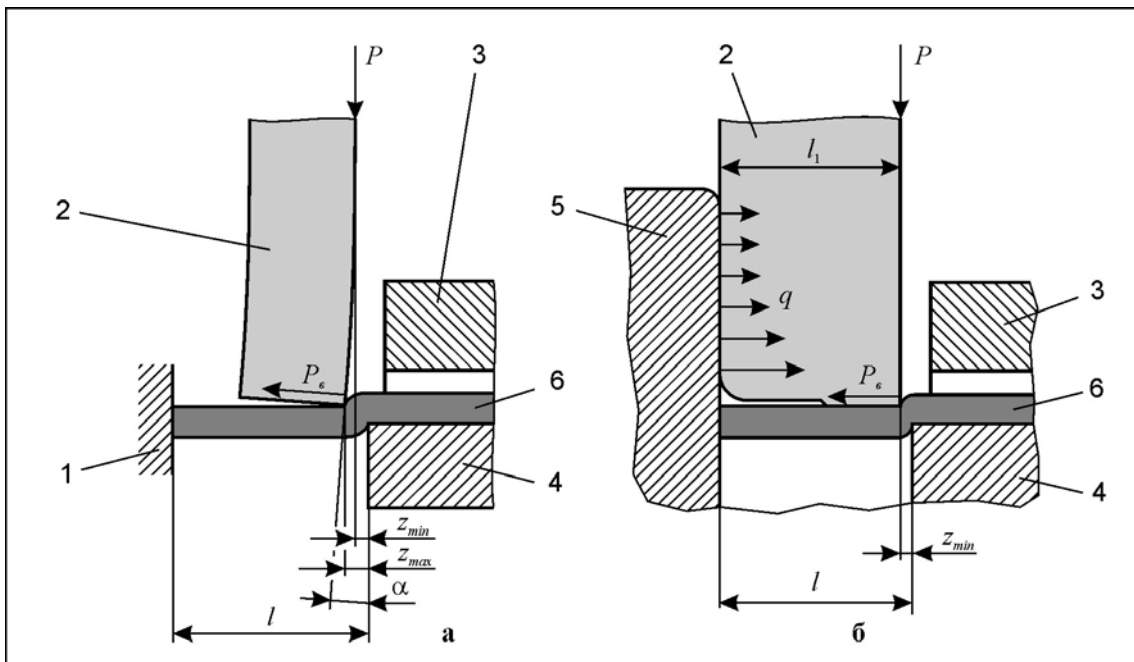


Рис. 2.12. Схеми відрізування: а – без противідтискача; б – з противідтискачем; 1 – упор передній; 2 – ніж рухомий; 3 – знімач; 4 – ніж нерухомий; 5 – противідтискач-упор; 6 - штаба

Сколювання починається в той момент, коли ніж впровадиться в лист на певну глибину h , що залежить від фізико-механічних властивостей металу та його товщини. Глибина h встановлена експериментально та змінюється в межах від 0,2 до 0,8 товщини металу s , причому, чим м'якше метал, тим h більше.

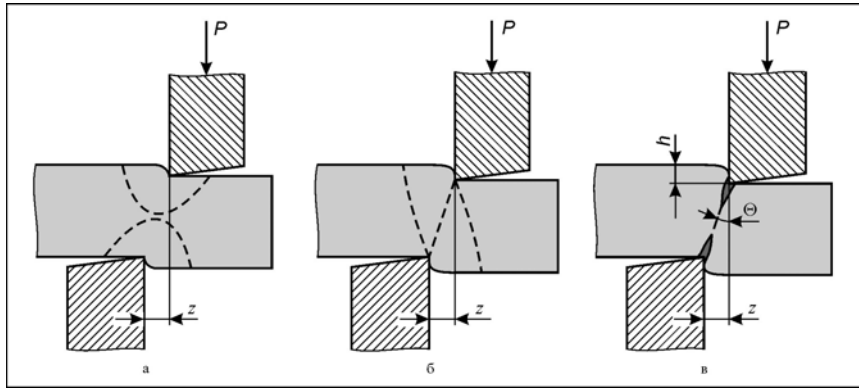


Рис. 2.13. Стадії процесу відрізування: а – перша; б – друга; в - третя

Розглянуті стадії відрізування характеризуються видом бічної поверхні окремої частини металу (рис. 2.14), де:

- зона I являє собою округлену частину листа. Незворотне округлення листа відбулося внаслідок того, що шари металу, які межують з поверхнею поділу (шириною порядку його товщини), охоплені пластичною деформацією, яка змінюється від нульового значення на зовнішній межі шару до максимуму біля поверхні поділу, причому інтенсивність цієї зміни відбувається за степеневим законом;

- зона II – це блискуча поверхня, що згладжена силами тертя;

- зона III являє собою поверхню сколювання, що утворюється внаслідок виникнення та розвитку тріщин сколювання. Тріщини сколювання спрямовані під певним кутом Θ до площини листа, який називається природним кутом сколювання. Його значення залежить від фізико-механічних властивостей металу. Він складає $4...6^\circ$.

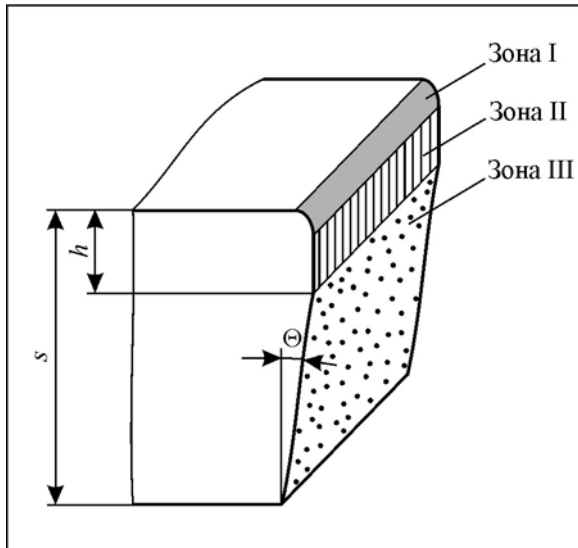


Рис. 2.14. Бічна поверхня металу після відрізування

В залежності від зазору між ножами z та глибини h проникнення ножа в товщину металу s до моменту початку руйнування, тріщини сколювання, що йдуть від робочих кромek рухомого та нерухомого ножів, можуть пройти паралельно при дуже малих зазорах (рис. 2.15, а) та при дуже великих зазорах, а при оптимальному зазорі – назустріч друг другу (рис. 2.15, б). В останньому випадку поверхонь сколювання отримується найбільш гладкою. Слід відмітити, що при зазорах більших та менших оптимального величина задирки збільшується.

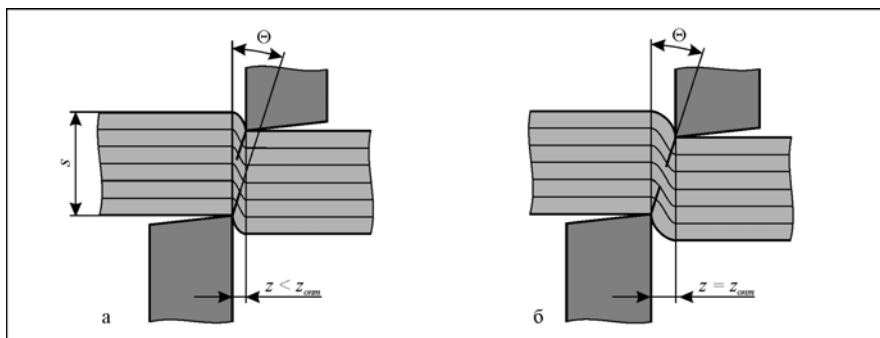


Рис. 2.15. Схеми утворення тріщин сколювання

Відрізування на ножицях із зворотно-поступальним рухом ножів. Розрахунок зусилля відрізування. За характером руху робочих органів ножиці для відрізування металу поділяються на дві групи: ножиці із зворотно-поступальним та з обертальним рухом ножів.

До першої групи ножиців відносяться: ножиці кривошипні з похилим ножем (гільйотинні, вібраційні, алігаторні), ножиці сортові, висічні та з паралельними ножами.

До другої групи відносяться дискові ножиці з однією або декількома парами дисків-ножів.

Технологія відрізування.

Ножиці із зворотно-поступальним рухом ножів випускаються з механічним (товщина металопрокату до 10 – 12 мм) та гідравлічним (товщина металопрокату до 40 мм) приводами та з похилими ножами різної форми (рис. 2.16).

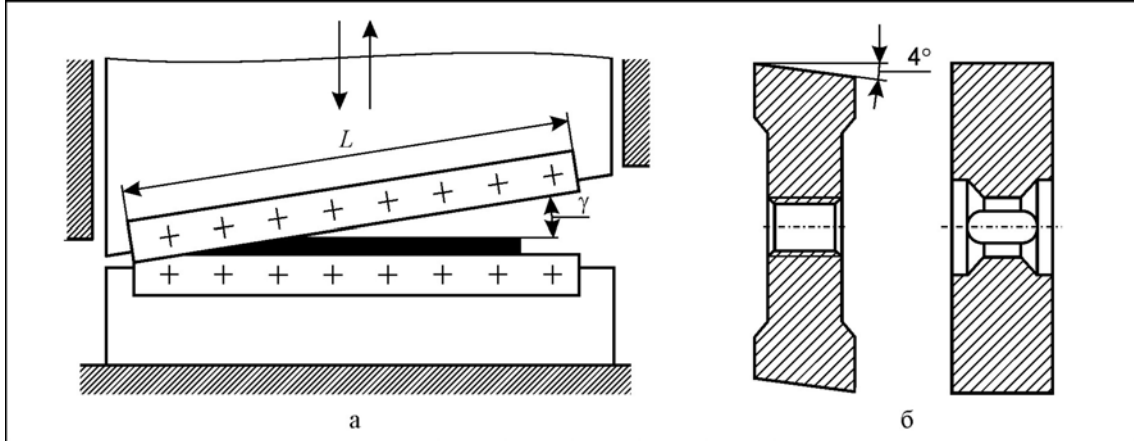
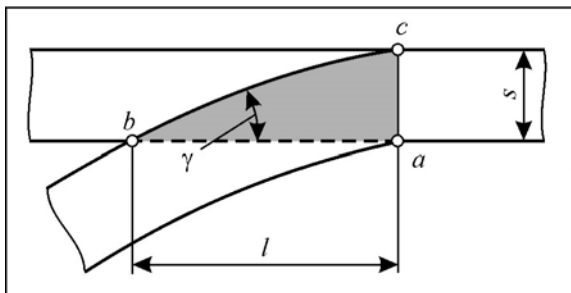


Рис. 2.16. Схема встановлення (а) та форма поперечного перерізу похилих ножів (б)

Процес відрізування відбувається поступово, на окремій ділянці листа, то зусилля відрізування суттєво менше, ніж при паралельному розташуванні ножів, а стійкість ножів більша. Кут нахилу верхнього ножа γ забезпечує самогальмування листа, що виключає можливість його переміщення в процесі відрізування. Звичайно $\gamma = 2 - 6^\circ$. Зусилля відрізування на ножицях з похилим ножем розраховується за формулою

$$P = \frac{s^2 \sigma_3}{2 \operatorname{tg} \gamma}, \quad (2.1)$$



яка отримана із умови, що в кожний момент відрізування зрізується площа $F = ls/2$, що приблизно дорівнює площі трикутника abc (рис. 2.17). В формулі (2.1) σ_3 – опір зрізу.

Рис. 2.17. До розрахунку зусилля відрізування на ножицях з похилим ножем

У вібраційних ножицях нижній ніж закріплено нерухомо, а верхній здійснює зворотно-поступальний рух від кулачкового механізму з частотою 1200 – 2500 ходів на хвилину (рис. 2.18). Вони застосовуються головним чином для вирізування криволінійних контурів в листовому прокаті товщиною до 3 мм. Хід ножиців змінюється від 2 до 4 мм; зазор між ножами більше оптимального, що дає можливість повороту заготовки. Матеріал ножів: інструментальна сталь У8А, У10А, Х12М; твердість – 58...60 HRC. Недоліки: швидкий знос ножів, утворення задирок та зарубів. Галузь застосування: одиничне та дрібносерійне виробництво.

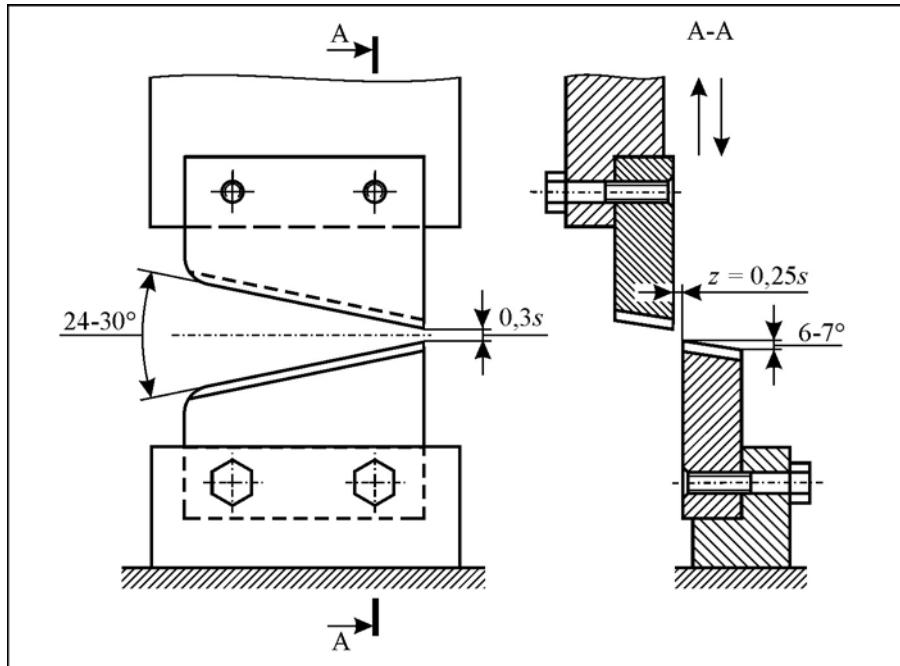


Рис. 2.18. Вібраційні ножиці (робоча зона)

Відрізування на ножицях з обертальним рухом ножів або дискових ножицях здійснюється двома ножами рівного діаметру, що обертаються в різних напрямках з однаковою коловою швидкістю. Ножі встановлюють з перекриттям робочих крамок на величину $d = (0,2 \dots 0,4) s$ (рис. 2.19, а).

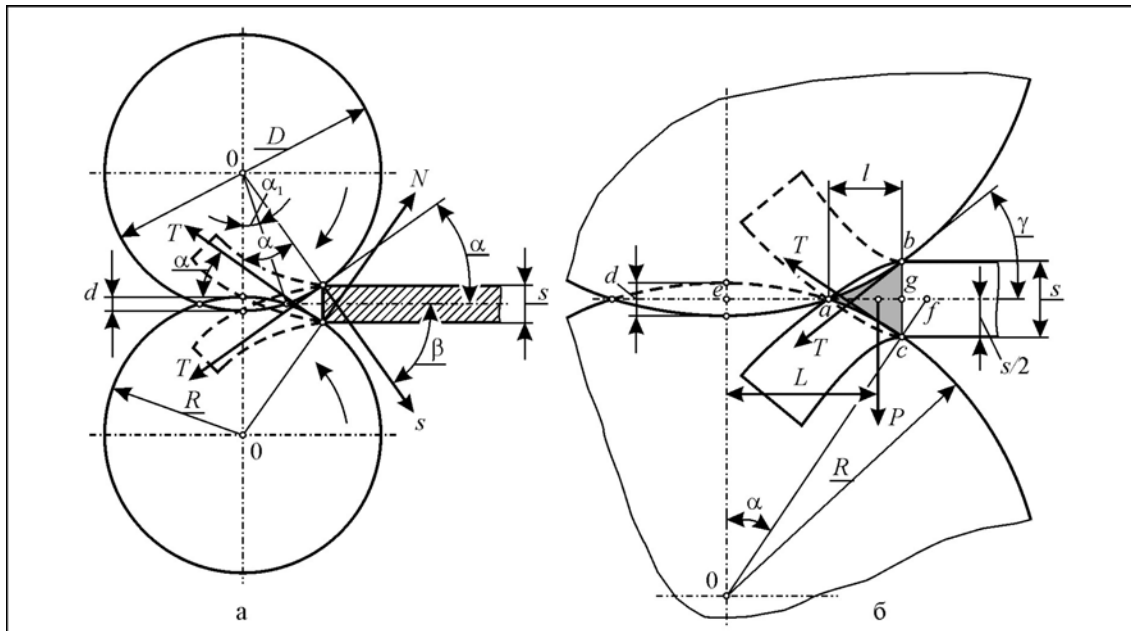


Рис. 2.19. Схеми дії сил при відрізуванні на дискових ножицях (а) та вогнище пластичної деформації, що виділено сірим кольором (б)

Особливість: при певному діаметрі ножа ножиці не тільки відрізають метал, але і захоплюють та тягнуть його. Тому довжина відрізаного штабу принципово не обмежена.

Головний параметр дискових ножиців – найбільша товщина листа, що відрізається, яка досягає 25 мм при умові, що $\sigma_0 \leq 500$ МПа.

Умова захоплення листа: в точках контакту з ножами на лист діють сила нормального тиску N та сила тертя T (рис. 2.19, а); ножі захоплюють лист в тому випадку, якщо задовольняється нерівність:

$$2T \cos \alpha > 2N \cos \beta .$$

Прийнявши до уваги, що у відповідності з законом Кулона $T = \mu N$ (μ - коефіцієнт контактного тертя), та $\beta = 90^\circ - \alpha$, отримаємо

$$2\mu N \cos \alpha > 2N \cos(90^\circ - \alpha),$$

тоді

$$2\mu N \cos \alpha > 2N \sin \alpha ,$$

звідкіля

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha .$$

Таким чином, для захоплення листа ножами в початковій стадії відрізування необхідно, щоб тангенс кута нахилу дотичної до контуру ножа в точці контакту його з листом був менше коефіцієнта тертя (при $\mu = 0,2$ $\alpha = 12^\circ$).

Словові характеристики процесу відрізування:

- вертикальна складова зусилля P (рис. 2.19, б) визначається за формулою

$$P = F\sigma_3 = \frac{b \cdot c \cdot l}{2} \sigma_3 ;$$

- обертальний момент

$$M_{кр} = 0,125s^2 \sigma_3 (D - d - s);$$

- потужність привода ножиців

$$N = \frac{M_{кр} \cdot \omega}{\eta} = \frac{M_{кр} \cdot \pi \cdot n}{30\eta} ,$$

де ω - кутова швидкість обертання ножа, c^{-1} ;

n - частота обертання ножів, об/хв.;

$M_{кр}$ - момент обертання, МН·м;

$\eta = 0,7 \dots 0,8$ - коефіцієнт корисної дії дискових ножиців;

N - потужність привода, МВт.

Конструктивне виконання дискових ножиців показано на рис. 2.20, 2.21, 2.22.

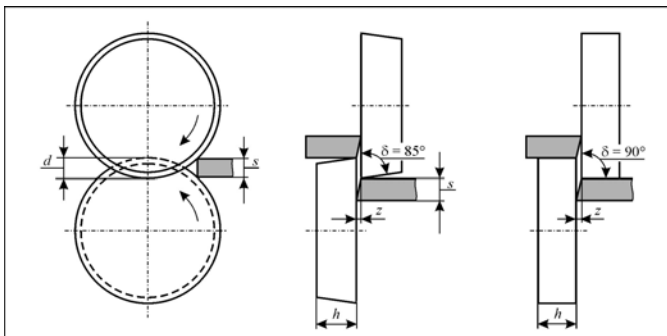


Рис. 2.20. Конструктивне виконання ножів дискових ножиців

Рис. 2.21. Схема відрізування на багатодискових ножицях:

- 1 – розпірна втулка;
2 – гумове кільце;
3 – відхід від рулону

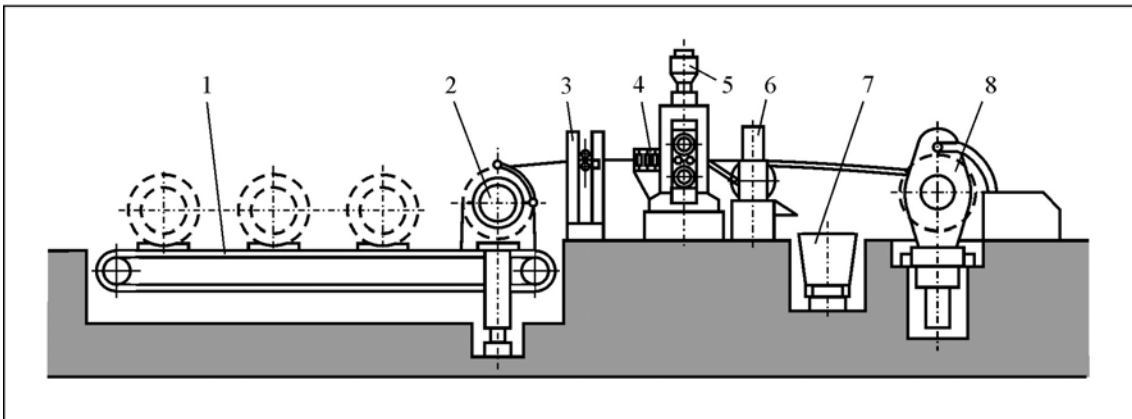
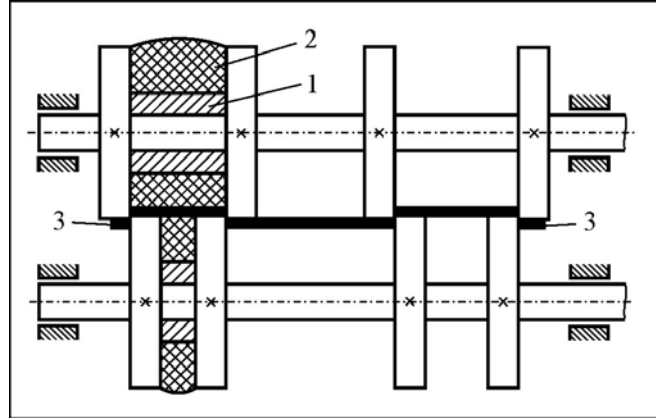


Рис. 2.22. Автоматична лінія для поздовжнього розрізування рулонного прокату на стрічки:
1 – ланцюговий конвеєр; 2 – пристрій, що розмотує; 3 – пристрій, що править та подає; 4 – правильний механізм; 5 – дискові ножиці; 6 – пристрій для здрібнювання відходів; 7 – бункер; 8 – намотувальний пристрій

Відрізування труб в штампах. В штампах відрізають труби діаметром до 60...80 мм та товщиною до 4...5 мм. Схема штампа показана на рис. 2.23.

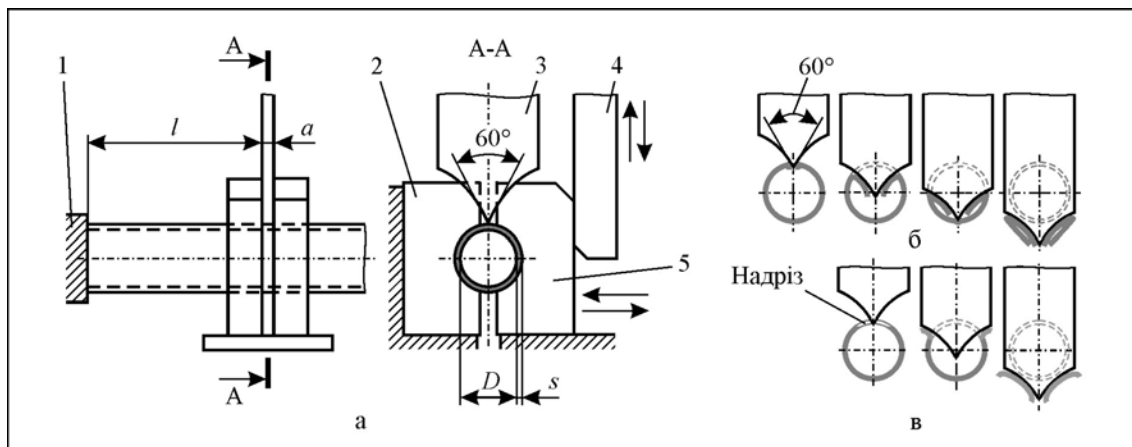


Рис. 2.23. Відрізування труби в штампі: а – схема штампа; б – морфологія відрізування труби без попереднього надрізування; в – морфологія відрізування труби з попереднім надрізуванням; 1 – упор; 2 – нерухома напівматриця; 3 – двобічний загострений ніж зі криволінійною увігнутою геометрією бічних поверхнь; 4 – клин; 5 – рухома напівматриця

2.3. Вирубвання та пробивання

Фізичні особливості процесу. Вирубванням та пробиванням отримують плоскі деталі із листа, а також заготовки, що використовуються для виготовлення просторових деталей гнуттям, витягуванням, відбортуванням та ін. Вирубвання та пробивання здійснюють в штампах, робочий інструмент (пуансон 1 та матриця 3) яких встановлено з певним зазором z (рис. 2.24).

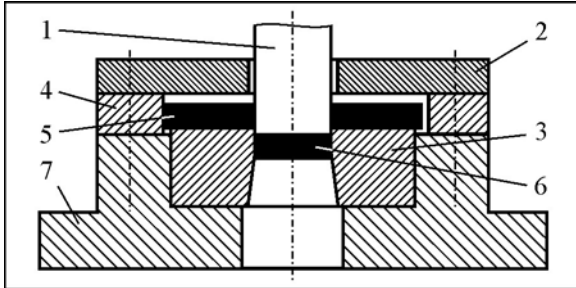


Рис. 2.24. Фрагмент штампа для вирубвання (пробивання): 1 – пуансон; 2 – жорсткий знімач; 3 – матриця; 4 – упор (графарет); 5 – відхід при вирубванні (виріб при пробиванні); 6 – виріб при вирубванні (відхід при пробиванні); 7 – плита нижня

І пуансон, і матриця мають гострі ріжучі кромки. Пуансон натискає на заготовку, внаслідок чого, як і при відрізуванні, відбувається відносне зміщення (зсув) металу в матрицю, що закінчується руйнуванням, тобто вирубванням або пробиванням. Відокремлена частина металу провалюється в отвір в матриці, а заготовка при ході повзуна вгору знімається з пуансона за допомогою знімача 2.

При вирубванні та пробиванні вогнище пластичної деформації охоплює всю товщу листа (див. пунктирні лінії на рис. 2.25).

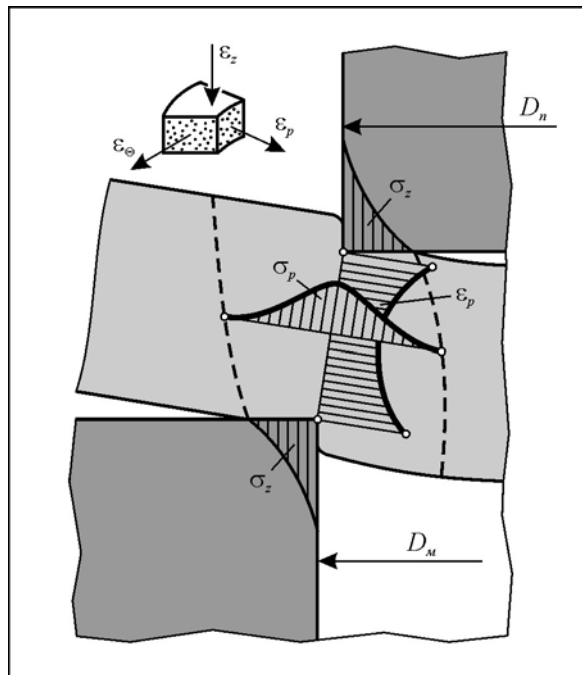
Рис. 2.25. Епюри напружень і деформацій у вогнищі деформації при вирубванні та пробиванні за товщиною заготовки

Напруження, що виникають при цьому, розподілені у вогнищі деформації нерівномірно. Це викликає нерівномірний розподіл деформацій в шарах металу, які паралельні плоскості заготовки за товщиною. Напружений та деформований стан при вирубванні та пробиванні – об'ємний.

Найбільша деформація ε_p у радіальному напрямку виникає біля робочих кромek пуансона та матриці, а найменша – приблизно посередині відстані між цими кромками.

Нерівномірність розподілу деформацій та напружень пояснюється дією моментів, які вигинають, внаслідок наявності зазору між пуансоном та матрицею. Значення цих моментів дорівнює добутку рівнодіючих елементарних сил, які прикладені до контактної поверхні заготовки з пуансоном та матрицею, на плече, що трохи більше, ніж зазор між ними. При певному моменті, що вигинає, частина металу, яка відокремлюється, вигинається та набуває випуклу форму. Вигин заготовки, поворот її перерізів в просторі викликає відхилення центральної її частини від торця пуансона, що, в свою чергу, приводить до нерівномірного розподілу нормальних напружень σ_z на контактній поверхні.

Нерівномірний розподіл нормальних напружень σ_z викликає нерівномірний розподіл радіальних напружень σ_p за товщиною заготовки та в шарах металу, що паралельні її плоскості. Для зменшення викривлення форми заготовки при вирубванні зменшують момент, що вигинає, за рахунок зменшення зазору між пуансоном та матрицею. Найбільша деформація в радіальному напрямку виникає біля робочих кромek пуансона та матриці, саме тому там народжуються мікро, а далі макротріщини, що швидко ростуть в глибину металу. При злитті тріщин процес поділу



металу закінчується. Злиття (збіжність) тріщин сколювання відбувається, як і при відрізуванні, при оптимальному зазорі (рис. 2.26, а). При товщині металу 0,3...20 мм оптимальний зазор змінюється відповідно від 5 до 12 % від товщини листа.

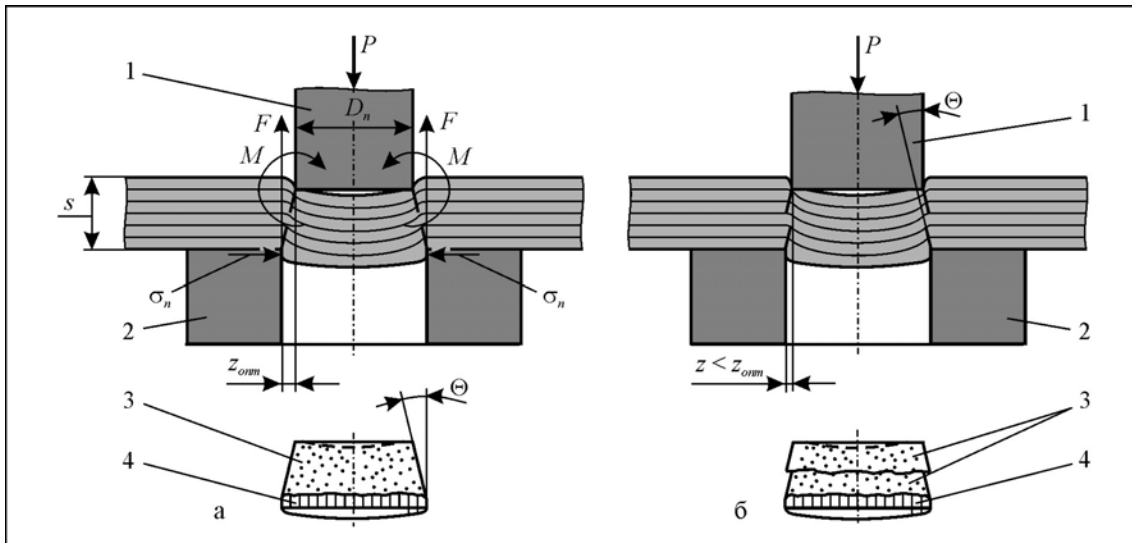


Рис. 2.26. Розташування тріщин сколювання в залежності від зазору між пуансоном та матрицею при вирубванні та пробиванні: а – при оптимальному зазорі (z_{opt}); б – при зазорі менше оптимального ($z < z_{opt}$); 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – шорстка поверхня (поверхня сколювання); 4 – блискуча поверхня (блискучий пояс), що зглажена силами тертя

Як показав Ф. П. Михайленко, при підвищенні зазору при вирубванні та пробиванні до 15...20 % порівняно з оптимальним стійкість інструмента суттєво підвищується, але якість бічної поверхні стає гірше. Зазор між пуансоном та матрицею впливає на знак та значення пружних деформацій деталі, що вирубана (або пробитого отвору). З підвищенням зазору виникає момент, що вигинає, внаслідок чого збільшуються напруження, що розтягують, а отже, і деформації в радіальному напрямку, що розтягають. Після розвантаження в зонах закруглення деталі, що вирубана та відходу виникають пружні деформації ϵ_p , що стискають, внаслідок чого діаметр деталі становиться менше діаметра матриці, а діаметр отвору – більше діаметра пуансона. При цьому деталь вільно провалюється крізь матрицю, а відхід легко знімається з пуансона. Зі зменшенням зазору (порівняно з оптимальним) момент, що вигинає, зменшується та стає настільки незначним, що напруження, що розтягують та діють в радіальному напрямку, не впливають суттєво на пружні деформації. Однак, при цьому зростає шаровий тензор стиснення, внаслідок чого після вирубання виникають зворотні по знаку пружні деформації, що розтягають, які приводять до збільшення діаметра вирубаної деталі та до зменшення діаметра пробитого отвору. При цьому деталь залишається в матриці, відхід щільно охоплює пуансон. Крім того, зі зменшенням зазору збільшується концентрація нормальних напружень σ_z біля робочих кромки пуансона та матриці, що викликає швидке їх притуплення, а отже, зменшення стійкості. Разом з цим при малому зазорі деталь, що відокремлюється, має більш точні розміри та залишається плоскою без додаткового правлення.

Експериментальними дослідженнями доведено [4], що процес миттєвого спаду зусилля в кінцевій фазі вирубання в загальному випадку супроводжується його гармонійним затухаючим коливанням (рис. 2.27), а амплітуда коливань, при інших рівних умовах, залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки. Як бачимо, для заготовки із сталі 45, як найменш пластичного матеріалу ($\sigma_s = 523$ МПа), амплітуда коливань зусилля найбільша, для заготовки із алюмінієвого сплаву Д12М ($\sigma_s = 102$ МПа) – вона менша, а для свинцю, як найбільш пластичного матеріалу ($\sigma_s = 51,5$ МПа) коливань зусилля не виявлено. З фізичної точки зору, коливання зусилля викликано коливанням нижньої частини вирубного пуансона в напрямку прикладання зусилля. При цьому, за рахунок тертя, бічна поверхня пуансона інтенсивно зношується. Це негативне явище потребує спеціальних засобів, що спрямовані на зменшення зносу розділового інструменту.

Для виявлення залежності глибини впровадження пуансона в матеріал зразка i до виникнення сколюючих тріщин від опору зрізу σ_z в роботі [4] застосований такий методичний прийом, як дискретне регулювання параметра σ_z за рахунок зміни матеріалу. З цією метою:

- вирубуванню підлягали зразки однакових геометричних параметрів ($d = 14$ мм, $s = 6$ мм);

- вирубування зразків здійснювали пуансоном одного діаметра ($d_n = 14,45$ мм), що забезпечувало однаковий двобічний зазор $z = 0,55$ мм;

- матеріал I зразка – свинець (литво, $\sigma_z = 51,5$ МПа), матеріал II зразка – алюмінієвий сплав Д12М ($\sigma_z = 102$ МПа); матеріал III зразка – сталь 45 ($\sigma_z = 523$ МПа).

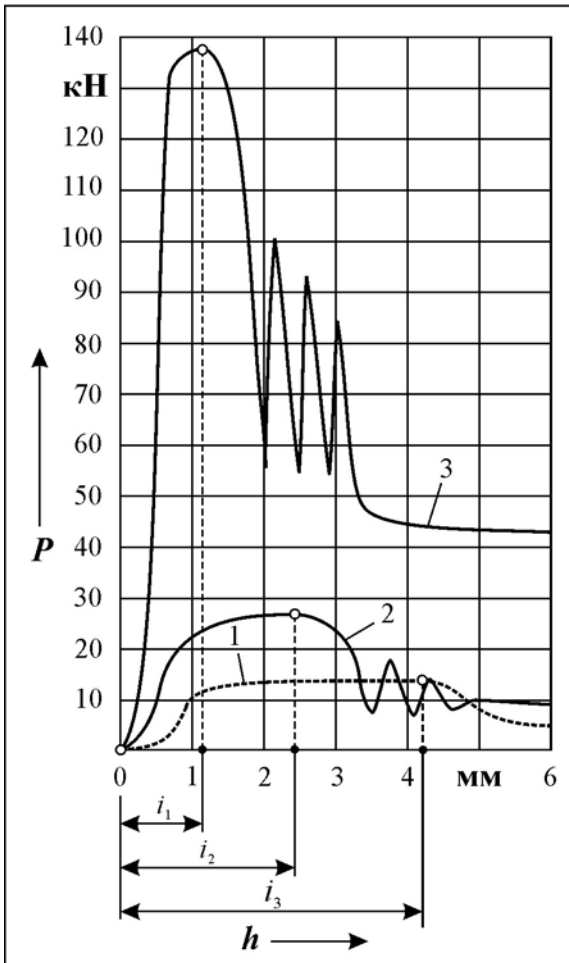


Рис. 2.27. Залежність зусилля вирубання P від глибини впровадження пуансона h в заготовки із різних матеріалів ($s = 6$ мм; $z = 0,55$ мм): 1 – свинець; 2 – алюмінієвий сплав Д12М; 3 – сталь 45

Вигляд кількісної залежності $i = f(\sigma_z)$ показано на рис. 2.28. Як бачимо ця залежність має явно виражений нелінійний характер з суттєвим зростанням i у бік зменшення опору зрізу σ_z .

Виконавчі розміри інструмента.

Розмір виробу після вирубання відповідає розміру робочого отвору матриці [5]. Знос матриці приводе до збільшення її робочого отвору. Тому виконавчий розмір матриці для вирубання повинен бути меншим номінального розміру виробу.

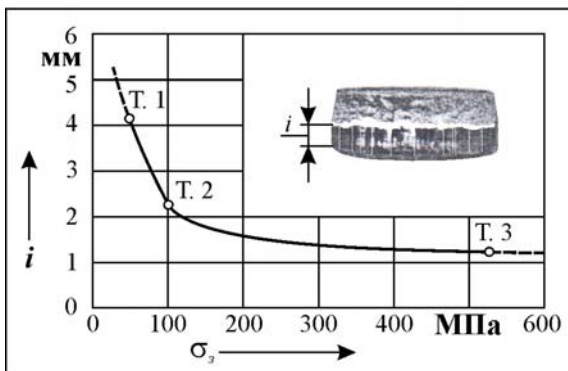


Рис. 2.28. Залежність глибини i впровадження пуансона в матеріал при вирубванні до виникнення сколюючих тріщин від опору зрізу σ_z : точка 1 – свинець; точка 2 – алюмінієвий сплав Д12М; точка 3 – сталь 45

Так, виконавчий розмір матриці визначається за формулою:

$$L_m = (L_n - \Delta)^{+\delta_m}, \quad (2.2)$$

де L_n - номінальний розмір виробу, що штампується;

Δ - допуск на розмір виробу (припуск на знос інструмента, тобто матриці);

δ_m - допуск на розмір матриці.

Виконавчий розмір пуансона для вирубання буде менше розміру матриці на величину зазору z між ними, та з урахуванням (2.2) визначається за формулою:

$$L_m = (L_n - \Delta - z)_{-\delta_n}, \quad (2.3)$$

де δ_n - допуск на розмір пуансона.

Розмір отвору після пробивання відповідає розміру робочого отвору пуансона [5]. Знос пуансона приведе до зменшення його розміру. Тому виконавчий розмір пуансона повинен бути більшим номінального.

Так, виконавчий розмір пробивного пуансона визначається за формулою:

$$L_n = (L_n + \Delta)_{-\delta_n} \quad (2.4)$$

Виконавчий розмір пробивної матриці для вирубування буде більше розміру пуансона на величину зазору z між ними, та з урахуванням (2.4) визначається за формулою:

$$L_m = (L_n + \Delta + z)^{+\delta_m} \quad (2.5)$$

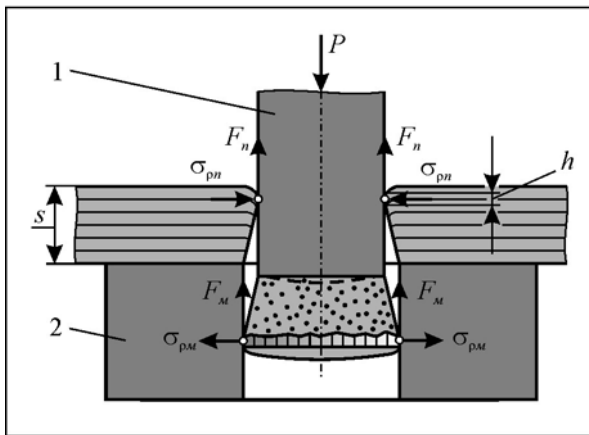
Енергосилові характеристики процесу: зусилля вирубування та пробивання, засилля проштовхування та знімання, робота деформування.

Зусилля вирубування та пробивання залежить від опору зрізу σ_3 матеріалу заготовки, товщини метала s , довжин контуру, що відокремлюється L , форми та стану робочих кромek пуансона та матриці та зазору між ними, швидкості деформування та глибини впровадження пуансона в метал до моменту появи сколюючої тріщини. При розрахунках зусилля (Н) вирубування та пробивання наближено визначають за формулою:

$$P = \kappa \cdot F \cdot \sigma_3 = \kappa \cdot L \cdot s \cdot \sigma_3, \quad (2.6)$$

де κ – коефіцієнт, що ураховує притуплення ріжучих кромek пуансона та матриці. $\kappa = 1,1 \dots 1,3$; F – площа поверхні зрізу, мм².

Із формули (2.6) бачимо, що максимальне зусилля виникає в початковий момент вирубування та пробивання, коли площа F максимальна.



Зусилля проштовхування та знімання. При вирубуванні з малим зазором деталь залишається в матриці, а відхід щільно охоплює пуансон. В результаті пружних деформацій виникають контактні напруження $\sigma_{рм}$ та $\sigma_{рн}$, які при проштовхуванні деталі крізь матрицю та зніманні відходу з пуансона викликають виникнення напружень тертя (рис. 2.29).

Рис. 2.29. Схема дії сил тертя при вирубуванні (пробиванні): 1 – пуансон; 2 – матриця

В зв'язку з цим, при робочому ході пуансона необхідно долати не тільки опір вирубування-пробивання P_m , але й опір сил тертя F_m , що виникають при переміщенні деталі відносно матриці, а також опір сил тертя F_n на контактній поверхні пуансона та відходу металу. В цьому випадку зусилля преса $P = P_m + F_m + F_n$. При зворотному ході пуансон долає тільки опір сил тертя знімання відходу металу з пуансона F_n . Суму сил F_m та F_n називають зусиллям проштовхування $P_{пр} = F_m + F_n$, а силу F_n - зусиллям знімання $P_{зн} = F_n$. Визначення зусиль проштовхування та знімання дозволяє уточнити енергосилові характеристики вирубування та пробивання, а також отримати необхідні данні для розрахунку на міцність та жорсткість окремих деталей штампів (знімачів, пружин, пуансонотримачів та деталей їх кріплення).

Якщо вважати, що відхід металу стикається з пуансоном тільки блискучим пояском висотою h (див. рис. 2.29), то формула для визначення зусилля знімання набуде вигляду:

$$P_{zn} = L \cdot h \cdot \sigma_{pn} \cdot \mu.$$

При $h = 0,3s$, $\mu = 0,2$ та $\sigma_{pn} \approx \sigma_s$, отримуємо

$$P_{zn} = 0,06Ls\sigma_s = 0,06P_m. \quad (2.7)$$

Як бачимо зусилля знімання складає 6 % від технологічного зусилля вирубування-пробивання.

Нижче наводяться емпіричні формули для розрахунку:

- зусилля знімання

$$P_{zn} = K_{zn} \cdot P_m; \quad (2.8)$$

- зусилля прошовування

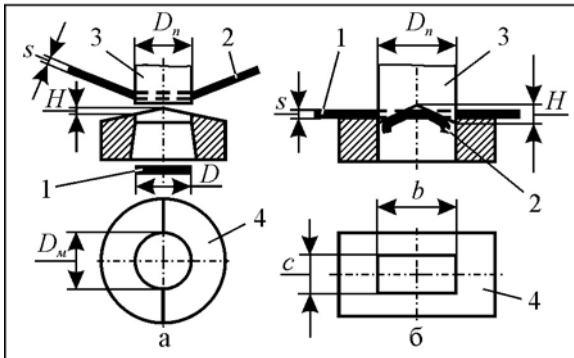
$$P_{np} = K_{np} \cdot P_m \cdot n = K_{np} \cdot P_m \cdot \frac{h}{s}, \quad (2.9)$$

де K_{zn} та K_{np} - коефіцієнти (або відносне зусилля) знімання та прошовування;

n - число деталей в пояску матриці.

Робота деформування. Зусилля деформування при вирубуванні та пробиванні змінюється за ходом

$$A = \lambda \cdot P_{\max} \cdot s, \quad (2.10)$$



де λ - коефіцієнт заповнення кривої навантаження;

P_{\max} - максимальне значення зусилля на кривій навантаження;

s - товщина заготовки.

Рис. 2.30. Конструктивне виконання інструменту для зменшення деформуючого зусилля вирубування (а) та пробивання (б): 1 - деталь; 2 - відхід; 3 - пуансон; 4 - матриця

Способи зменшення деформуючого зусилля. Для зменшення деформуючого зусилля застосовують різні способи: вирубування контуру по частинам; вирубування-пробивання пуансонами різної довжини зі ступінчастим розташуванням робочих кромки;

вирубування-пробивання за допомогою пуансонів та матриць з похилими (скошеними) кромками. Останній спосіб (рис. 2.30) дозволяє здійснювати процес вирубування-пробивання поступово (як при відрізуванні на ножицях з похилим ножом, рис. 2.31), а не одночасно за усім контуром, що відокремлюється.

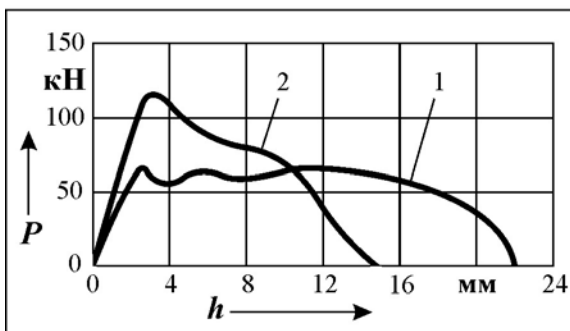


Рис. 2.31. Залежність зусилля відрізування P від ходу h на ножицях: 1 - з похилим ножом; 2 - з паралельними ножами

Внаслідок цього зусилля вирубування-пробивання може бути зменшено на 30...40 %. Звичайно висота скошу $H = (1...2)s$. При вирубуванні скіс виконують на матриці, а при пробиванні – на пуансоні. Це забезпечує якість штампування, бо викривляється лише відхід.

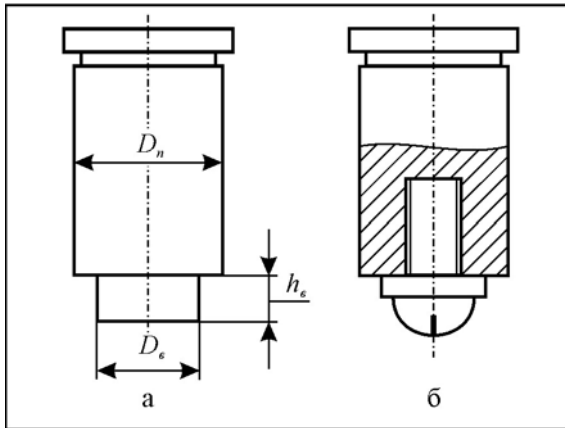
Особливості вирубування-пробивання неметалевих матеріалів. Структура шарових та волокнистих пластиків неоднорідна, пронизана мікротріщинами, які при дії зусиль на заготовку стають вогнищами концентрації напружень в зоні деформації. Це явище небезпечне в зв'язку з можливістю появи тріщин в процесі штампування. Тому ці пластики, особливо гетинакси, штамнують при дотриманні ряду умов:

- мала швидкість деформування (при числі ходів пресу не більше 50 на хвилину);
- попереднє стиснення заготовки в штампі між матрицею та знімачем силою

$$Q = qLs,$$

де L – периметр контуру вирубування;

q – тиск притиску (при $s \leq 1$ мм $q = 6...10$ МПа, при $s = 2...3$ мм $q = 15...20$ МПа);



- застосування попереднього пробивання отвору, що має діаметр менше номінального з подальшим пробиванням в розмір. Діаметр першої ступені D_e двоступінчастого пуансона (рис. 2.32) складає 0,7...0,8 номінального діаметра отвору D_n , висота ступені $h_e = (0,8...0,9)s$. Перша ступінь – неякісне пробивання, друга ступінь – зачищення;

Рис. 2.32. Конструктивне виконання пуансонів для пробивання неметалевих матеріалів: а – суцільний; б – складений

- нагрівання шарових пластиків при товщині листа більш 1,5...2 мм до температури 90...120 °С для підвищення якості поверхні поділу та зменшення опору зсуву. Нагрівання може здійснюватися в електричних пічках та термостатах, інфрачервоними лампами, між гарячими плитами, в воді, що кипить та ін.

При штампуванні гетинаксу та текстоліту зазор між пуансоном та матрицею приймається значно меншим, ніж при штампуванні металів (1,5...4 % від товщини матеріалів), перемичка між контурами деталей, що вирубуються, приблизно на 50 % більше, ніж при вирубуванні мало вуглецевої листової сталі (причина: підвищена крихкість заготовки).

Послідовне та суміщене (комбіноване) штампування. Суть комбінованого штампування полягає в об'єднанні декілька операцій в одному штампі, при цьому операції, що об'єднуються, називаються *переходами*.

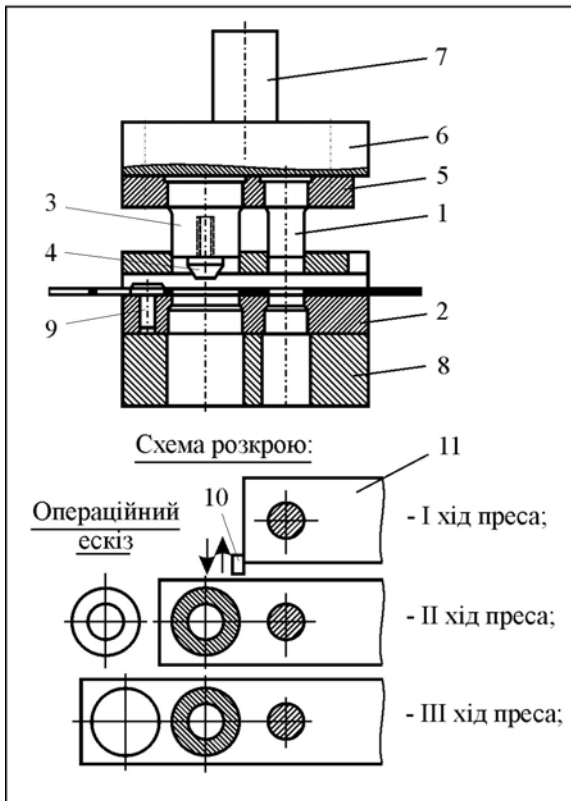
Об'єднуватися можуть:

- розділові операції з розділовими (вирубування, пробивання);
- формозмінні з формозмінними (перший та подальші переходи витягування);
- розділові з формозмінними (вирубування, витягування).

Можливості об'єднання операцій в одному штампі залежать від співвідношення зовнішніх та внутрішніх розмірів деталей, що штамнуються.

При комбінованому штампуванні окремі її переходи можна виконувати послідовно, при переміщенні заготовки у вигляді штаби або стрічки з однієї позиції на другу, за декілька ходів преса (*послідовне штампування*) або одночасно, на одній позиції штампування, за один хід преса (*суміщене штампування*).

Якщо не приймати до уваги ходи преса, що відбуваються в початковий період штампування, то і при послідовному і при суміщеному штампуванні за кожний хід преса отримують готову деталь.



В штампах послідовної дії робочий інструмент (пуансони, матриці) розташований послідовно, один за другим (рис. 2.33). В штампах суміщеної дії – один в другому (рис. 2.34). Штампи суміщеної дії більш компактні та точніші, але малопродуктивні, більш складніші та коштовні. Штампи послідовної дії – більш простіші у виготовленні, легко автоматизуються, а тому більш продуктивні, але менш точні та мають більші габарити.

Рис. 2.33. Схема штампа послідовної дії для штампування деталі «Шайба»: 1 – пуансон для пробивання; 2 – матриця; 3 – пуансон для вирубання; 4 – фіксатор; 5 – пуансонотримач; 6 – плита нижня; 7 – хвостовик; 8 – плита нижня; 9 – грибоквий передній упор; 10 – разовий упор; 11 – штаба

Матриці та пуансони: конструктивне виконання робочої частини (рис. 2.35). Конструкція робочого отвору матриць для вирубання та пробивання залежить від товщини деталі, що штампується, її форми та розмірів, заданою кресленням потрібної

точності штампування, характеру виробництва та інших факторів.

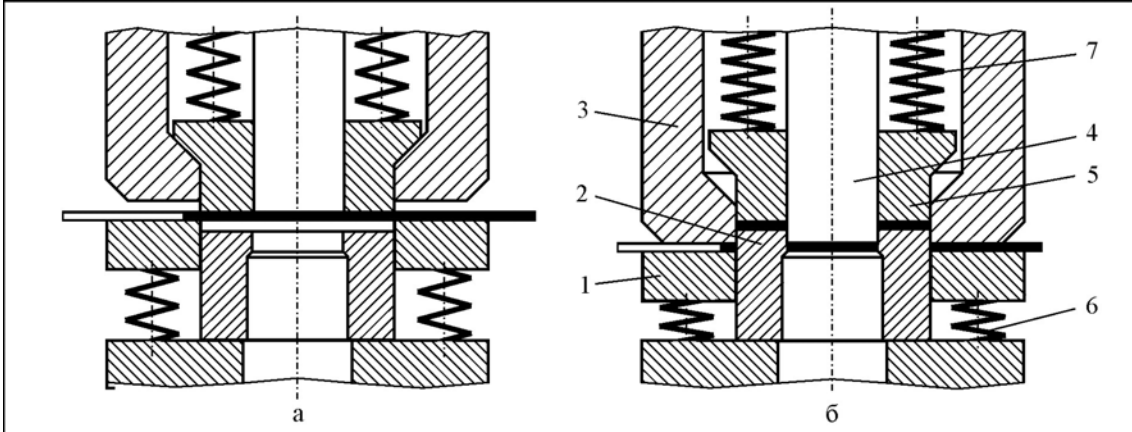


Рис. 2.34. Схема робочої зони штампа суміщеної дії для штампування деталі «Шайба»: а – початкова фаза; б – кінцева фаза; 1 – нижній рухомий знімач; 2 – пуансон-матриця; 3 – вирубна матриця; 4 – пробивний пуансон; 5 – виштовхувач; 6, 7 – пружини стиснення

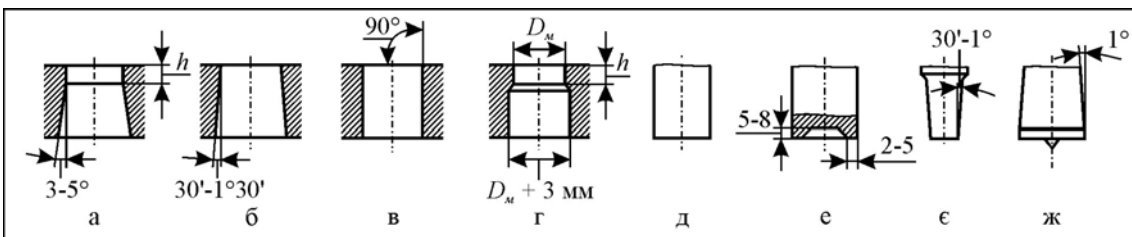


Рис. 2.35. Форма робочих отворів матриць та робочих частин пуансонів для вирубання та пробивання

Матрицю з призматичним пояском (рис. 2.35, а) застосовують для штампування деталей складної форми або підвищеної точності. Висота пояса залежить від товщини заготовки та змінюється у межах від 3 до 15 мм при відповідній зміні товщини від 0,5 до 10 мм. Кут конусності провального отвору – 3...5°. Даний тип провального отвору забезпечує стабільність розмірів деталі, що штампується, після шліфування дзеркала матриці, однак довговічність матриць – невелика.

Конічну за всією висотою матрицю (рис. 2.35, б) застосовують при штампуванні невеликих деталей простої форми и невисокої точності, так як після шліфування дзеркала робочий отвір матриці збільшується (при шліфуванні на 3 мм розмір матриці збільшується на 0,1 мм). Кут конусності складає від 15' до 1°, довговічність матриці вище, ніж матриці з робочим отвором, що показано на рис. 2.35, а.

Призматичну за всією висотою матрицю (рис. 2.35, в) застосовують при штампуванні зі зворотним виштовхуванням деталі на поверхню матриці (в більшості випадків в штампах суміщеної дії).

Матрицю з циліндричним пояском та розширеним провальним отвором (рис. 2.35, г) застосовують для пробивання круглих отворів діаметром до 40 мм. Висота пояса така, як у матриці, що показано на рис. 2.35, а. Діаметр провального отвору на 3 мм більше отвору матриці.

Пуансон з кутом різання 90° (рис. 2.35, д) – простий у виготовленні, у зв'язку з чим є найбільш розповсюджений. При діаметрі пуансона більш 50 мм на торцевій поверхні його робиться поглиблення для зменшення площі поверхні, що шліфується (рис. 2.35, е). Ширина кільцевої частини повинна бути ширше вогнища пластичної деформації. Цієї умови відповідає ширина 2...5 мм;

Пуансон злегка конічної форми з кутом нахилу твірної 30'...1° (рис. 2.35, е) застосовують при пробиванні отворів в товстому листі ($s > 8$ мм), коли з'являється потреба зменшення зусилля знімання.

Пуансон з зворотнім конусом в 1° та конічним виступом (рис. 2.35, ж) застосовують при пробиванні отворів в товстому листі ($s > 8$ мм) для зменшення зусилля проштовхування та при пробиванні отворів за розміченням керном.

В залежності від умов штампування стійкість інструменту (до шліфування), що виготовлено із інструментальної сталі, складає $5 \cdot 10^4 \dots 10^5$ ударів. Стійкість твердосплавного інструменту досягає 10^6 ударів та більше.

2.4. Чистове вирубування. Зачищення в штампах

Чистове вирубування та пробивання. В масовому та великосерійному виробництві найбільш ефективними способами отримання плоских деталей (з точністю розмірів до 8...11 квалітету, шорсткістю бічної поверхні до $Ra \approx 2,5 \dots 1,25$ мкм для сталевих та $Ra \approx 1,25 \dots 0,63$ мкм для кольорових пластичних металів) є чистове вирубування і пробивання, а також зачищення. Застосування цих операцій дозволяє, у ряді випадків, замінити механічну обробку і цим суттєво підвищити продуктивність праці, знизити питому витрату металу та собівартість продукції, що випускається.

Найбільш широке застосування отримало чистове вирубування та пробивання з попереднім стисненням заготовки при дуже малому зазорі між пуансоном та матрицею. Особливість процесів: заготовка перед вирубування-пробивання стискується поблизу вогнища деформації кільцевим ребром, яке виконане як одне ціле з притискним кільцем штампа. При цьому дотичні напруження концентруються у вогнищі деформації, збільшується компонента шарового тензору напружень (гідростатичний тиск), пластичність металу підвищується. Відокремлення однієї частини заготовки від другої відбувається тільки внаслідок зсуву під дією дотичних напружень, що дозволяє отримати високу точність розмірів виробу та чисту бічну поверхню.

Механізм пластичної деформації чистового вирубування-пробивання досліджено недостатньо. Науково обґрунтованих рекомендацій щодо ведення цих операцій мало, є лише експериментальні данні та данні виробничого досвіду.

Чистове вирубування-пробивання виконують в штампі (рис. 2.36). Притискне кільце 3 притискує заготовку до матриці 1, при цьому відбувається впровадження клинового ребра в заготовку. Далі пуансоном 4 вирубують деталь та заштовхують її в матрицю 1 переборнюючи протитиск контрпуансона 2. При зворотньому ході відхід вивільняють від притискного кільця 3, а вирубану деталь виштовхують із матриці 1 контрпуансоном 2 та вилучають із робочого простору

штампа. Нормальні напруження, що стискають, які створюються притискним кільцем 3, повинні бути не менше межі текучості металу заготовки.

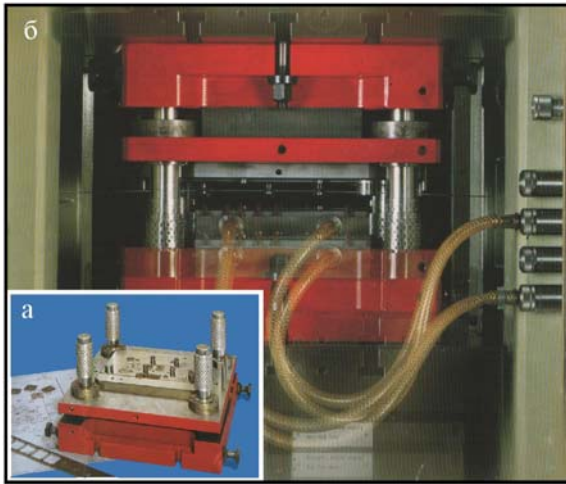


Рис. 2.36. Штамп для чистового вирубання-пробивання: а – нижня частина штампа, штаба та креслення штампа; б – встановлення штампа на пресі-автоматі потрійної дії з гідравлічним приводом фірми Feintool (Швейцарія)

Чистове вирубання-пробивання виконують в штампах (рис. 2.37), які встановлюють на пресах-автоматах:

- з механічним приводом з номінальним зусиллям до 6,3 МН для штампуванні деталей товщиною до 16 мм;
- з гідравлічним приводом з номінальним зусиллям до 25 МН для штампування деталей товщиною до 40 мм

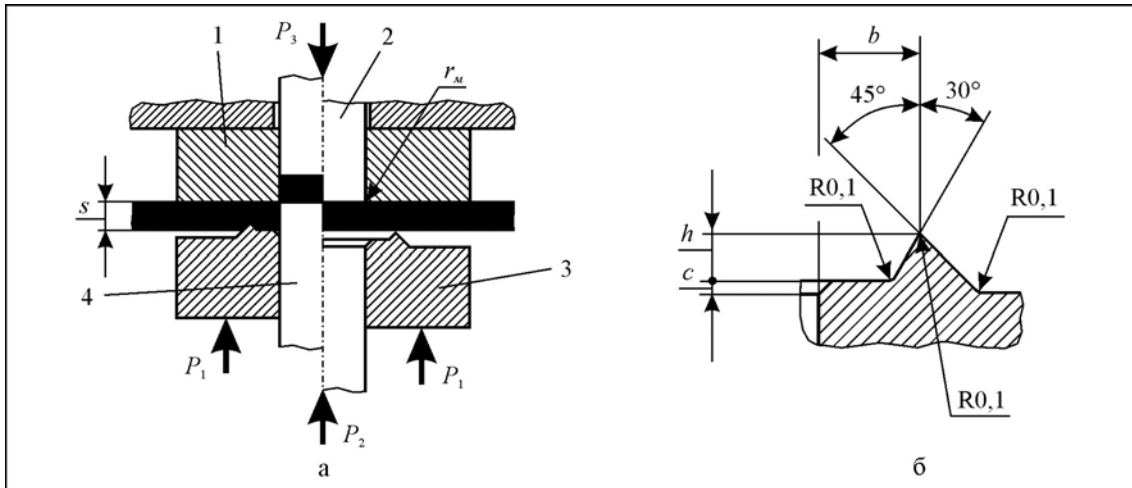


Рис. 2.37. Схема штампа для чистового вирубання: а – схема; б – конструктивне виконання клинового ребра; 1 – матриця; 2 – контрпуансон; 3 – притискне кільце; 4 – пуансон

Преси-автомати розвивають послідовно:

- зусилля притиску заготовки до матриці до початку вирубання та впровадження в заготовку клинового ребра;
- зусилля вирубання та протитиску і виштовхування із матриці готової деталі.

Повне (сумарне) зусилля преса P чистового вирубання-пробивання з попереднім стисненням заготовки у 1,65...2,25 рази більше, ніж при вирубванні-пробиванні без попереднього стиснення.

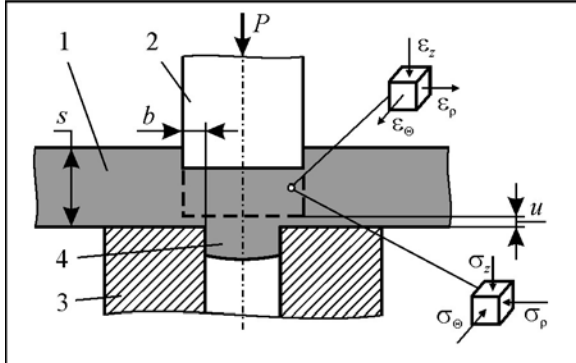
Особливості інструмента. При чистовому вирубванні-пробиванні товстолистового металу ($s > 4$ мм) клиноподібне ребро виконують не тільки на притискному кільці, але й на матриці. Для зменшення обертального моменту при чистовому вирубванні-пробиванні зазор між пуансоном і матрицею повинен бути дуже малий (або зовсім відсутній) із розрахунку

$$z = 0,01s^{+\Delta z},$$

де z – двобічний зазор;

Δz – межеве відхилення. При $s = 2$ мм $\Delta z = 0,005$ мм, а при $s = 12$ мм $\Delta z = 0,03$ мм.

Робочий отвір матриці виконують без нахилу, так як штампування здійснюється зі зворотним виштовхуванням. Робочі кромки матриці округляються радіусами 0,1...0,6 мм при товщині металу відповідно 2...12 мм. Притупляється тільки одна із робочих кромek (матриці – при вирубуванні, пуансона – при пробиванні), друга повинна залишатися гострою для запобігання



утворення задирки та для підвищення висоти блискучого пояску. Посадочна частина матриць та притисних кілець мають конусність 0° 30', що необхідно для їх закріплення та бандажування.

Існують і інші способи чистового вирубання-пробивання, наприклад, вирубання пуансоном більшим вікна матриці, тобто з «негативним зазором» (рис. 2.38).

Рис. 2.38. Схема чистового вирубання пуансоном більшим вікна матриці

Зачищення. Призначення: підвищення точності розмірів заготовки, що штампується та отримання підвищеної якості бічної поверхні, порівняно зі звичайним вирубанням-пробиванням. Розміри деталей для зачищення не перебільшують 150...200 мм при товщині матеріалу 3...4 мм. Зачищення більш крупних деталей обмежено складністю виготовлення штампів. Зачищення деталей товщиною більш 3...4 мм (до 8...10 мм) здійснюють за декілька операцій. Шорсткість поверхні після зачищення $Ra = 1,25...0,32$ мкм при товщині матеріалу до 3 мм та $Ra = 2,5...1,25$ мкм при товщині більше 3 мм. Точність розмірів відповідає 8...11 квалітету. Зачищенням обробляють заготовки із кольорових металів та їх сплавів (мідь, латунь, алюміній та ін.), низьковуглецевих та корозійно-стійких сталей і титанових сплавів. Ширина шару, що відокремлюється зачищенням завжди менша товщини заготовки. Відокремлення припуску у вигляді стружки відбувається поступово, не шляхом сколювання, як при вирубванні.

В залежності від того, який контур обробляють (зовнішній або внутрішній), працює тільки одна ріжуча кромка інструмента: матриці або пуансона (рис. 2.39). Зачищення застосовують, головним чином, в приладобудуванні замість механічної обробки.

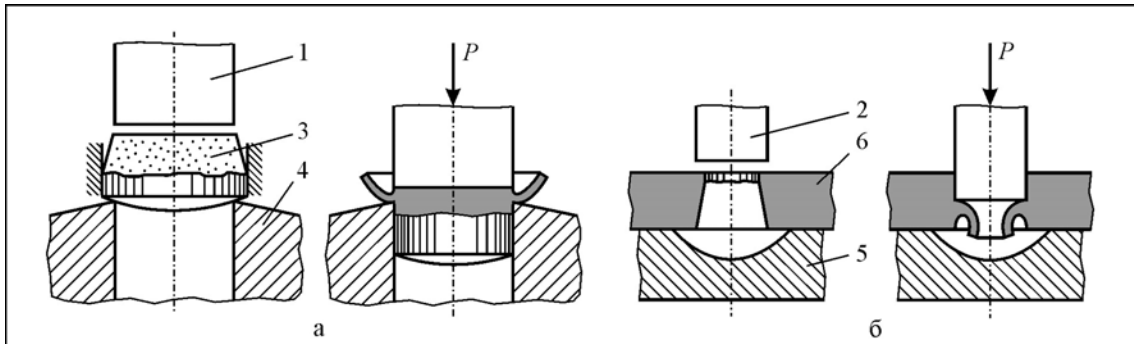


Рис. 2.39. Схема зачищення зовнішнього (а) та внутрішнього (б) контурів: 1, 2 – пуансони; 3 – деталь після вирубання; 4, 5 – матриці; 6 – деталь після пробивання

Припуски на зачищення. Деталі та заготовки після вирубання та пробивання мають конічну бічну поверхню. Тому гарантований припуск на зачищення визначиться формулою

$$P = z + y, \quad (2.11)$$

де z – двобічний зазор між пуансоном та матрицею при вирубванні;
 y – додатковий двобічний припуск. Він для металів складає 0,1...0,6 мм, для гетинаксу та текстоліту 0,2...0,5 товщини листа.

Зусилля зачищення наближено визначається за формулою

$$P = L\sigma_3 [\Pi + (0,15 \dots 0,2) ns], \quad (2.12)$$

де L – периметр контуру, що зачищається;

n – кількість деталей, що одночасно є в матриці для зачищення.

Орієнтовно можна вважати, що зусилля зачищення складає $\approx 25\%$ зусилля вирубання-пробивання.

При виконанні розділових операцій, особливо при чистовому вирубання-пробивання для підвищення зносостійкості інструмента доцільно використовувати спеціальні мастильно-охолоджувальні технологічні засоби, наприклад, ХС-147, ХС-163, ХС-164, Укринол 5/5 та інші.

2.5. Розкрій листового прокату

Показник ефективності розкрою. В собівартості продукції листового штампування витрати на матеріал складають 50...70 %, тому найбільш ефективним способом зниження собівартості є економія металу за рахунок зниження маси відходів. Кожний процент зменшення маси відходів дозволяє знизити собівартість деталі на 0,4...0,5 %. В зв'язку з цим оптимізація розкрою листового прокату – актуальна.

Розкрій це пошук найбільш ефективного розміщення заготовок (або плоских деталей) на листі (штабі, стрічці), відносно одна одній та кромкам листового прокату.

Коефіцієнт використання металу η визначають за загальною формулою

$$\eta = \frac{F_d \cdot n \cdot 100}{F_n}, \quad \%, \quad (2.13)$$

де F_d – площа деталі; n – кількість деталей із прокату (листа, штаби, стрічки); F_n – площа прокату (листа, штаби, стрічки).

Коефіцієнт використання металу – *головний показник*, що визначає як ефективність використання металу, так і технологічність конструкції деталі, що штампується.

Типи розкрою листового прокату та галузь їх застосування. Існують три типи розкрою листового прокату: з відходами, маловідхідний, безвідхідний (рис. 2.40).

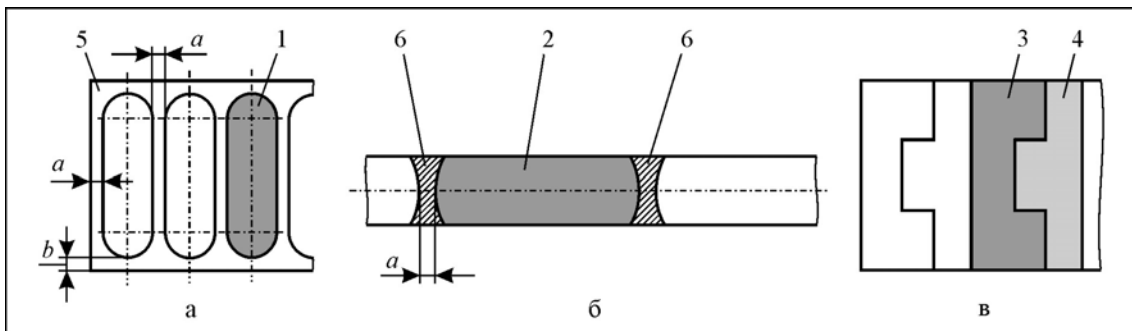


Рис. 2.40. Типи розкрою прокату: а – з відходами; б – маловідхідний; в – безвідхідний; 1, 2, 3, 4 – деталі, що штамнуються; 5, 6 – відходи

При *розкрою з відходами* деталь (заготовку) отримують вирубанням за замкнутим контуром. Між деталями, а також між кромкою штаби або листа залишають перемички (рис. 2.38, а). Розрізняють два види перемичок: між деталями та між краєм прокату та деталлю. Вони вибираються за довідником в залежності від габаритних розмірів деталі, товщини металу та його механічних властивостей.

Маловідхідний розкрій характеризується відсутністю бокових перемичок, при цьому ширина штаби повинна бути рівною ширині деталі, що штампується (рис. 2.38, б). Коефіцієнт використання металу при маловідхідному розкрою вище, ніж при штампуванні з відходами.

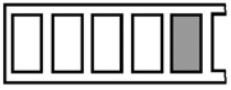
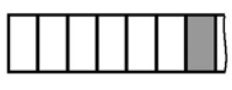


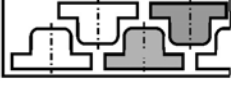
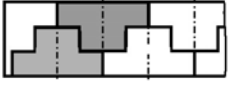
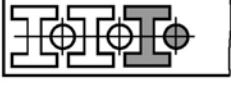


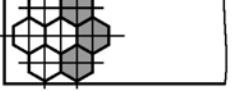

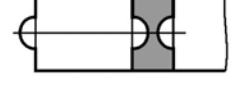
Безвідхідний розкрій застосовують при штампуванні деталей, контур яких сполучається один з одним. При цьому перемички відсутні, а коефіцієнт використання металу наближається до 100 % (рис. 2.38, в).

Розрізняють шість основних *видів розкрою* деталей (або заготовок) на штабі:

- при штампуванні деталей простої геометричної форми – прямокутної, овальної – застосовують *прямий розкрій* (табл. 2.1, а);
- при штампуванні деталей Г-подібної форми або іншої схожої форми – *похилий розкрій* (табл. 2.1, б);
- при штампуванні деталей Т- та Ш-подібної форми – *зустрічний розкрій* (табл. 2.1, в);
- при штампуванні деталей різної форми, але однакової товщини із одного матеріалу – *комбінований розкрій* (дрібні деталі розташовуються між деталями більших розмірів, або в кутових ділянках штаби (листа), коли крупні деталі мають круглу або овальну форму), табл. 2.1, г;
- при штампуванні деталей невеликих розмірів у великосерійному та масовому виробництві застосовують *багаторядний розкрій* (табл. 2.1, д);
- при штампуванні дрібних та вельми вузьких деталей (наприклад, стрілок годинників) із штаби або стрічки – *розкрій з вирубуванням перемичок*. Це єдиний вид розкрою, коли навмисно збільшується відхід металу з метою збільшення площі поперечного перерізу пуансона для пробивання вікон (табл. 2.1, е).

Таблиця 2.1

Основні види розкрою штаби

Тип розкрою	З відходами	Маловідхідний та безвідхідний	Тип деталі (заготовки)
а - прямий			З витягнутою віссю
б - похилий;			Г-подібні
в - зустрічний			Т- та Ш-подібні
г - комбінований			Різної форми, однакової товщини
д - багаторядний			Круглі, шестикутні тощо
е - з вирубуванням перемичок			Вузькі (стрілки тощо), подовжені

Види розкрою листового прокату. Розрізняють наступні види розкрою листового прокату:

- поперечний (рис. 2.41, а);
- поздовжній (рис. 2.41, б);
- комбінований (рис. 2.41, в);
- косий (рис. 2.41, г).

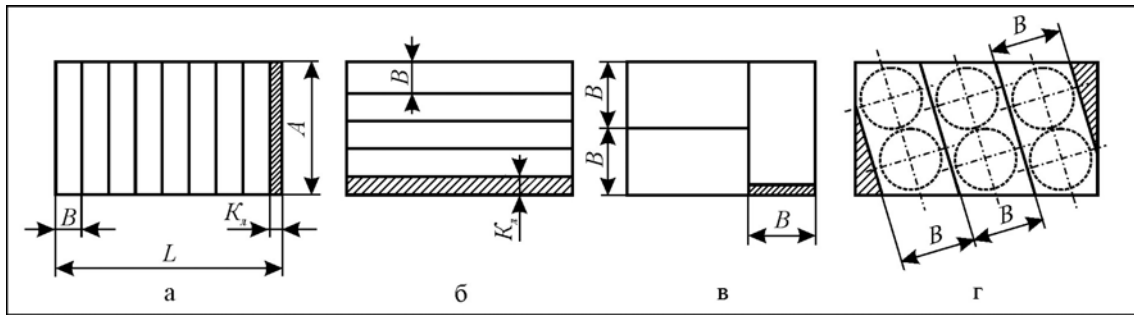


Рис. 2.41. Види розкрою листового прокату

Вибір виду та оптимізація розкрою листового прокату. Приклади розрахунків основних видів розкрою: розкрій листа, стрічки, штаби. Вибір найбільш раціонального виду розкрою здійснюється досвідно-графічним або розрахунковим (аналітичним) шляхом.

Вибір розмірів листа та виду розкрою обумовлені, у кінцевому підсумку, досяганням максимально можливого коефіцієнта використання матеріалу. При цьому необхідно користуватися такими правилами:

- відрізування штаб для вирубання великих заготовок у серійному виробництві доцільно здійснювати при комбінованому розкрою матеріалу та дотриманні комплексності заготовок на об'єкт виробництва (трактор, сівалку, комбайн, автомобіль тощо) або із застосуванням у деяких випадках косою розкрою;

- відрізування вузьких штаб раціонально здійснювати вздовж листа, так як це забезпечує підвищення кількості деталей із кожної штаби, а отже, і зменшення долі кінцевих відходів;

- краще відрізувати широкі штаби від листа при поперечному положенні заготовок на штабі, так як при цьому потрібна менша кількість відрізувань, менший крок подачі при штампуванні, що сприяє зменшенню розмірів кінцевих відходів від штаби, а отже, підвищенню коефіцієнта використання матеріалу;

- заміна листового прокату на стрічку (рулон) в умовах крупносерійного виробництва приведе не тільки до економії металу, але й до можливості застосування автоматизованого високопродуктивного штампування;

- при виготовленні великогабаритних деталей доцільно замовляти мірний листовий прокат. При цьому економічний ефект досягається за рахунок скасування транспортування відходів від заводу-споживача прокату (замовника) до заводу-виготовлювача, де як правило здійснюється переробка відходів власного виробництва;

- розкрій листового прокату для виготовлення деталей, що мають операції гнуття, необхідно виконувати з урахуванням напрямку волокон прокату. Останнє підвищує міцність деталей і дозволяє зменшити товщину прокату.

Розкрій листового прокату виконують у такій послідовності:

- уточняють габаритні розміри вибраного листа (довжину та ширину) і вибирають вид розкрою. Виконують схему розкрою листа (див., наприклад, рис. 2.41, а);

- вибирають тип розкрою штаби в залежності від конфігурації та габаритних розмірів деталі. Виконують схему розкрою штаби з урахуванням послідовності переходів штампування. На рис. 2.42 як приклад показано однорядну схему розкрою штаби для штампа послідовної дії, призначеного для пробивання (перший перехід) та вирубання (другий перехід) деталі "Шайба";

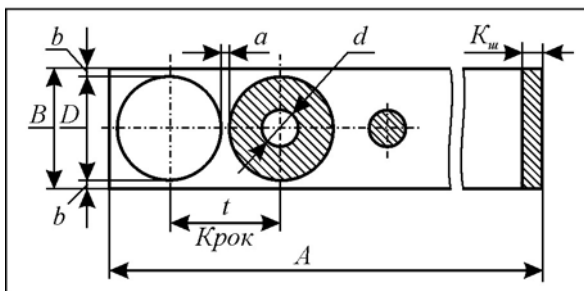


Рис. 2.42. Схема однорядного розкрою штаби при поперечному розкрою листа

- визначають ширину штаби за формулами:

- при умові роботи з бічним притиском

$$B = B_p + \Delta_{ш}; \quad (2.14)$$

при умові роботи без бічного притиску

$$B = B_p + 2\Delta_{\text{ш}} + Z, \quad (2.15)$$

де B_p – розрахункова ширина штаби. Для розкрою штаби, що показано на рис 2.42

$$B_p = D + 2b, \quad (2.16)$$

D – зовнішній діаметр деталі, мм; b – величина бічної перемички, мм; $\Delta_{\text{ш}}$ – одnobічний (мінусовий) допуск на ширину штаби, мм; Z – гарантований зазор між напрямними штаби та штабою при її максимально можливій ширині, мм;

- визначають крок подачі штаби (крок штампування). Для розкрою штаби, що показано на рис. 2.42, крок подачі:

$$t = D + a, \quad (2.17)$$

де a – величина перемички, мм;

- визначають кількість деталей (заготовок), що штампується зі штаби. Для розкрою штаби, що показано на рис 2.41 кількість деталей зі штаби визначають із виразу (2.18), а отриманий результат записують у вигляді:

$$n = \frac{A}{t} = \dots \text{ шт} + K_n = \dots \text{ мм} \quad (2.18)$$

де K_n – кінцевий відхід зі штаби, мм; A – ширина листа, мм;

- визначають кількість штаб із листа. Для розкрою штаби, що показано на рис. 2.41, кількість штаб із листа визначають за формулою (2.19), а отриманий результат записують у такому вигляді:

$$m = \frac{L}{B} = \dots \text{ шт} + K_n = \dots \text{ мм} \quad (2.19)$$

де K_n – кінцевий відхід із листа, мм; L – довжина листа, мм;

- визначають кількість деталей із листа:

$$q = n \cdot m; \quad (2.20)$$

- визначають коефіцієнт використання матеріалу, %:

$$\eta = \frac{F_{\text{д}} \cdot q \cdot 100}{F_{\text{л}}}, \quad (2.21)$$

де $F_{\text{д}}$ – площа деталі, мм²;

$$F_{\text{д}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2);$$

$F_{\text{л}}$ – площа листа, мм²; $F_{\text{л}} = L \cdot A$;

- визначають норму витрати матеріалу на одну деталь, г:

$$H = \frac{G_{\text{л}}}{q}, \quad (2.22)$$

де $G_{\text{л}}$ – маса листа, г; $G_{\text{л}} = L \cdot A \cdot S \cdot \rho$,

ρ – густина матеріалу, г/см³; L – довжина листа, см; A – ширина листа, см; S – товщина листа, см.

Розкрій безперервного прокату, наприклад, стрічки, здійснюється в такій послідовності:

- вибирають тип розкрою стрічки в залежності від конфігурації й габаритних розмірів деталі. Виконують схему розкрою фрагмента стрічки з урахуванням послідовності переходів штампування. На рис. 2.43 показана схема розкрою стрічки для штампа, що призначено для вирубання двох деталей за один хід преса;

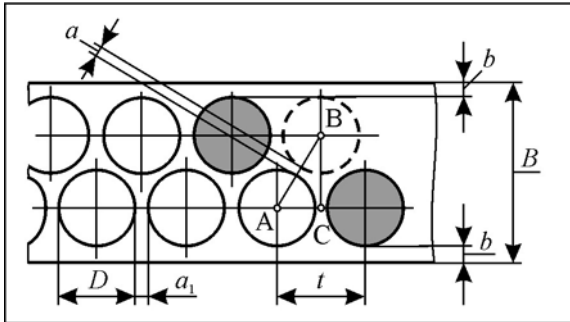


Рис. 2.43. Схема дворядного шахового розкрою стрічки

- визначають ширину стрічки за формулами (2.14) та (2.15), де B_p – розрахункова ширина стрічки для розкрою, що показаний на рис. 2.43:

$$B_p = D + 2b + l_{BC}, \quad (2.23)$$

l_{BC} – довжина катета BC :

$$l_{BC} = \sqrt{l_{AB}^2 - l_{AC}^2},$$

l_{AB} – довжина катета AB :

$$l_{AB} = D + a_1,$$

l_{AC} – довжина катета AC :

$$l_{AC} = \frac{D + a_1}{2}.$$

- за отриманим результатом вибирають найближчу більшу ширину стрічки (або рулон із подальшим розпуском його на стрічки) за стандартом;

- визначають крок подачі стрічки:

$$t = D + a_1; \quad (2.24)$$

- визначають коефіцієнт використання матеріалу з розрахунку на довжині стрічки в один крок подачі, нехтуючи незначними кінцевими відходами. Для даного випадку:

$$\eta = \frac{F_d \cdot k \cdot 100}{B \cdot t}, \quad (2.25)$$

де F_d – площа деталі, мм^2 ; k – кількість рядів штампування, шт.;

- визначають норму витрати матеріалу на одну деталь, кг/дет . У даному випадку:

$$H = \frac{\rho \cdot t}{k}, \quad (2.26)$$

де ρ – маса 1 м стрічки, кг ; t – крок подачі стрічки, м.

Розкрій сортового прокату здійснюється аналогічно.

Розділ 3 ФОРМОЗМІННІ ОПЕРАЦІЇ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

3.1. Види формозмінних операцій

Схеми основних формозмінних операцій та їхнє визначення. Формозмінні операції призначені для незворотної зміни форми та розмірів заготовок, що отримуються з листа, штаби або просторових тонкостінних напівфабрикатів (в тому складі відрізків труб). У відміну від розділових операцій заготовки деформують пластично, але не доводять до руйнування. Нижче наводяться визначення та схеми основних формозмінних операцій холодного штампування.

Гнуття – технологічна операція холодного штампування для утворення кутів між частинами заготовки (рис. 3.1, а) або надання їй криволінійної форми (рис. 3.1, б).

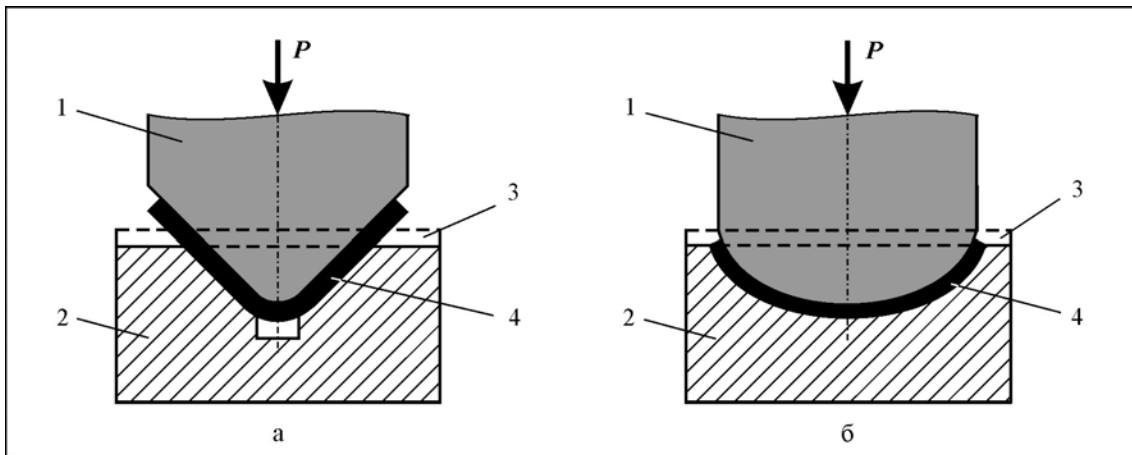
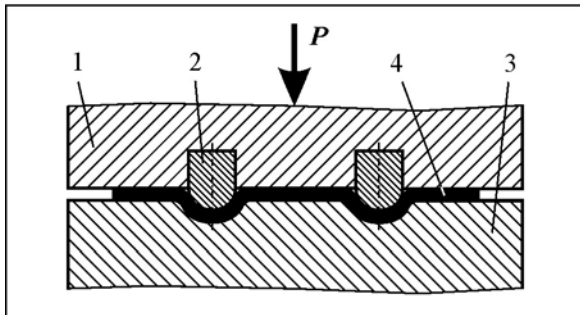
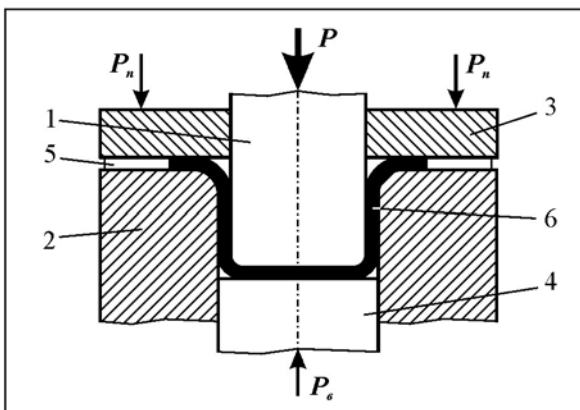


Рис. 3.1. Схеми операцій гнуття: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – вихідна заготовка; 4 – заготовка (виріб) після гнуття



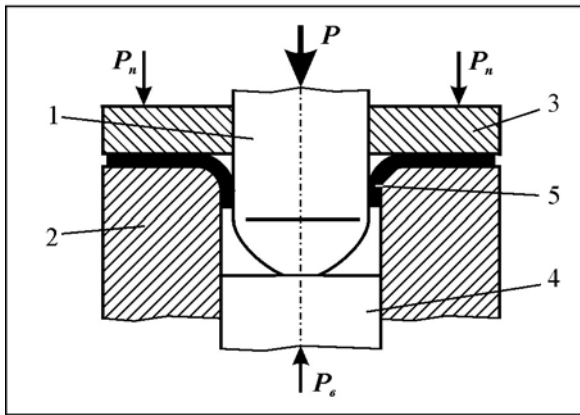
Рельєфне формування – технологічна операція холодного штампування для утворення місцевої порожнистості заготовки або виробу із плоскої, або порожнистої вихідної заготовки (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Схема операції рельєфного формування:
1 – пуансон; 2 – вставка; 3 – матриця; 4 – деталь після формування



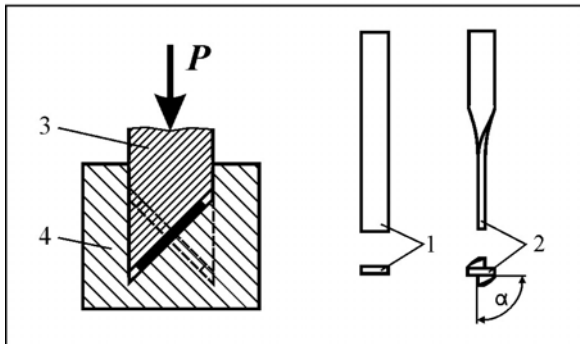
Витягування – технологічна операція холодного штампування для утворення порожнистої заготовки або виробу із плоскої, або порожнистої вихідної заготовки (рис. 3.3).

Рис. 3.3. Схема операції витягування:
1 – пуансон;
2 – матриця;
3 – притискач;
4 – виштовхувач;
5 – вихідна заготовка;
6 – деталь після витягування



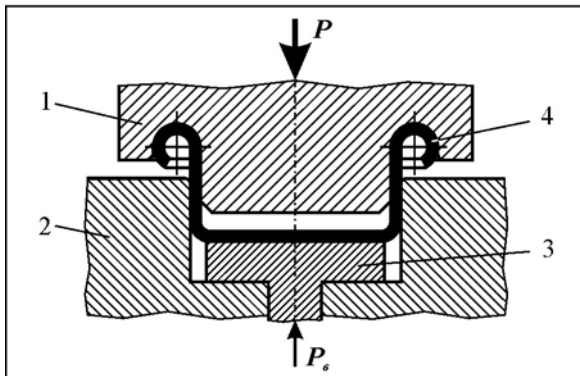
Відборткування – технологічна операція холодного штампування для утворення борта за внутрішнім контуром заготовки (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Схема операції відборткування:
 1- пуансон;
 2 – матриця;
 3 – притискач;
 4 – виштовхувач;
 5 – деталь після відборткування



Скручування – технологічна операція холодного штампування для повороту частини заготовки біля поздовжньої осі (рис. 3.5).

Рис. 3.5. Схема операції скручування:
 1 – вихідна заготовка;
 2 – деталь після скручування;
 3 – пуансон;
 4 – матриця



Загортання – технологічна операція холодного штампування для утворення закруглених бортів на краях порожнистої заготовки (рис. 3.6).

Рис. 3.6. Схема операції загортання:
 1 – матриця;
 2 – обойма (упор);
 3 – виштовхувач;
 4 – деталь після загортання

Правлення – технологічна операція холодного штампування для усунення викривленої форми заготовки (рис. 3.7).

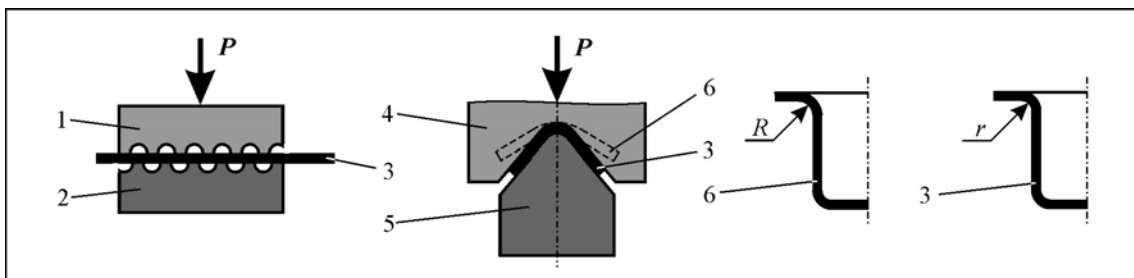
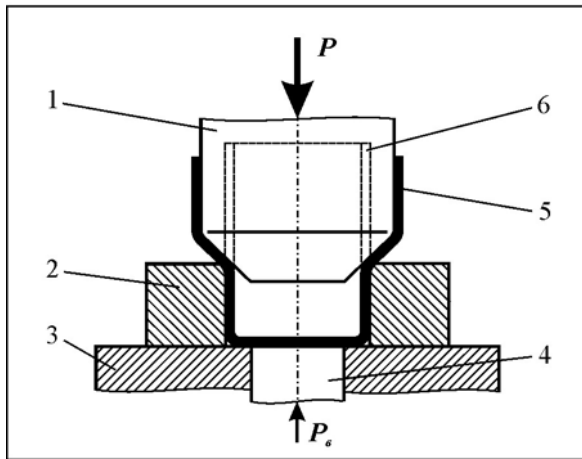


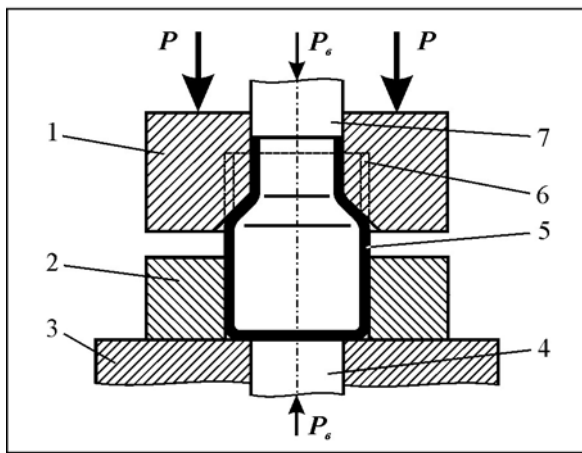
Рис. 3.7. Схеми операції правлення: 1 – плита рухома; 2 – плита нерухома; 3 – заготовка після правлення; 4 – матриця рухома; 5 – пуансон нерухомий; 6 – заготовка до правлення



Роздавання – технологічна операція холодного штампування для підвищення розмірів поперечного перерізу частини порожнистої заготовки (рис. 3.8).

Рис. 3.8. Схема операції роздавання:

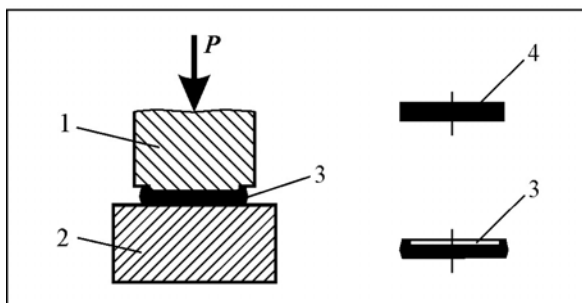
- 1 – пуансон;
- 2 – матриця-обойма;
- 3 – плита;
- 4 – виштовхувач;
- 5 – заготовка після роздавання;
- 6 – заготовка до роздавання



Обтискування – технологічна операція холодного штампування для зменшення розмірів поперечного перерізу частини порожнистої заготовки (рис. 3.9).

Рис. 3.9. Схема операції обтискування:

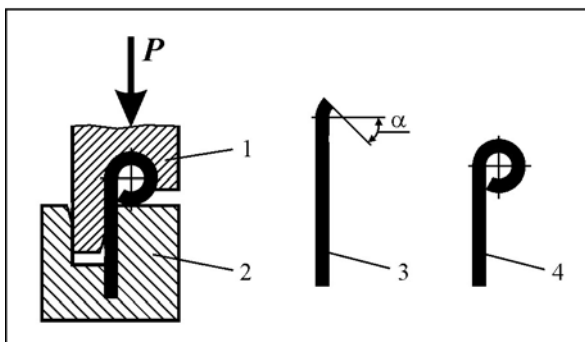
- 1 – матриця;
- 2 – обойма;
- 3 – плита;
- 4 – виштовхувач нижній;
- 5 – заготовка після обтискування;
- 6 – заготовка до обтискування;
- 7 – виштовхувач верхній



Карбування – технологічна операція холодного штампування для утворення на поверхні заготовки рельєфного зображення за рахунок перерозподілу металу (рис. 3.10).

Рис. 3.10. Схема операції карбування:
1 – пуансон; 2 – плита; 3 – заготовка після карбування; 4 – заготовка до карбування

Калібрування – технологічна операція холодного штампування для підвищення точності розмірів штампованої заготовки, а також для зменшення радіусів закруглень. Схема операції калібрування схожа на схему основної операції штампування деталі.



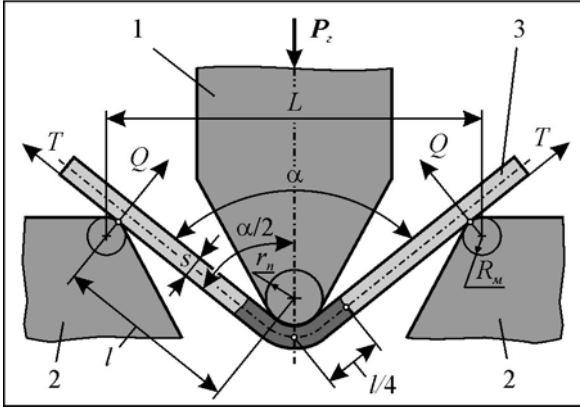
Завивання – технологічна операція холодного штампування для утворення закруглень на кінцях плоскої заготовки або заготовки із дроту (рис. 3.11).

Рис. 3.11. Схема операції завивання:

- 1 – пуансон;
- 2 – ложемент-противідтискач;
- 3 – заготовка після першого переходу;
- 4 – заготовка після другого переходу

3.2. Гнуття

Стадії гнуття. Розподіл деформацій та напруг за товщиною заготовки. Гнуття виконується на кривошипних та гідравлічних пресах, валкових листогнуттєвих машинах, спеціальних профілегнуттєвих машинах для гнуття з розтяганням, а також на універсально-гнуттєвих автоматах.



Гнуття в штампах здійснюють одночасною дією на заготовку пуансона та матриці, причому точки прикладання сил P_z та Q знаходяться на певній відстані друг від друга (рис. 3.12).

Рис. 3.12. Схема дії сил при гнутті в штампі: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка в процесі гнуття

Сили P_z та Q утворюють момент, що вигинає, який достатній для виконання формозміни. У процесі гнуття кривизна деформованої ділянки заготовки збільшується, при цьому одночасно відбувається розтягання зовнішніх та стиснення внутрішніх шарів. У міру того як радіус гнуття зменшується, пластичною деформацією охоплюється вся товщина заготовки. Форма зони пластичної деформації та її довжина при $\alpha = 90^\circ$ складає біля однієї чверті плеча гнуття l (див. рис. 3.12).

Після гнуття форма та розміри поперечного перерізу заготовки в зоні пластичної деформації змінюються. Зміна поперечного перерізу заготовки тим більша, чим менше радіус гнуття. Це відбувається внаслідок того, що пластична деформація в окружному напрямку у відповідності з умовою незмінності об'єму супроводжується пластичними деформаціями зворотного знаку в одному або двох взаємно перпендикулярних напрямках: радіальному та аксіальному.

При гнутті вузької штаби на ребро попередньо прямокутна форма поперечного перерізу перетворюється в трапецієподібну (рис. 3.13, а), висота перерізу в зоні пластичної деформації зменшується ($s_0 < s$). При гнутті широкої штаби або листа форма поперечного перерізу в зоні пластичної деформації змінюється несуттєво, зменшується лише її товщина s (рис. 3.13, б).

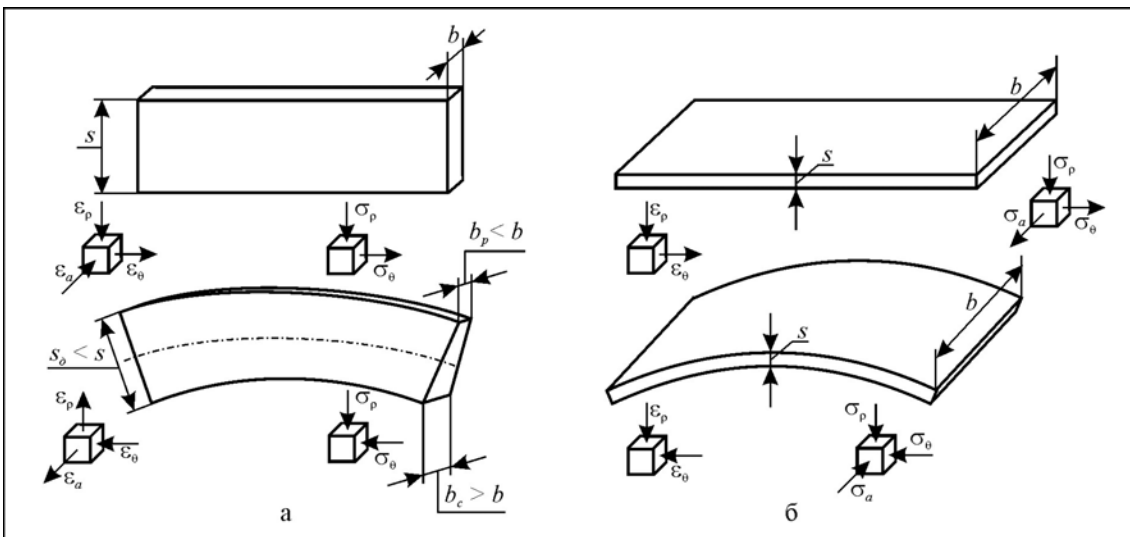


Рис. 3.13. Схеми гнуття вузької (а) та широкої (б) штаб

Напружений стан зони пластичної деформації при гнутті характеризується нормальними напруженнями σ_θ в окружному напрямку та нормальними напруженнями σ_r в радіальному напрямку. Останні виникають внаслідок натиснення поздовжніх шарів заготовки друг на друга

(див. рис. 3.13, а, б). Крім того, при гнутті широкої заготовки виникають ще нормальні напруження σ_a в аксіальному (осьовому) напрямку. Їхнє виникнення пояснюється пружною зміною форми й розмірів елементарної (за шириною) ділянки заготовки, що знаходиться на деякій відстані від її країв (див. рис. 3.13, б). При гнутті широкої заготовки (у відміну від гнуття на ребро штаби) аксіальні деформації зустрічають опір сусідніх, що безпосередньо примикають до елементарної ділянки шарів металу, викликаючи цим виникнення аксіальних напружень σ_a . У зоні розтягу аксіальні напруження такі, що розтягують, у зоні стиснення – стискають (див. рис. 3.13, б). Таким чином, *при гнутті широкої штаби напружений стан – об'ємний*.

При гнутті вузької штаби аксіальні напруження невеликі порівняно з напруженням текучості, тому ними можна нехтувати ($\sigma_a \approx 0$). Це допущення дозволяє вважати, що *при гнутті на ребро вузької штаби напружений стан плоский*.

Значення та характер розподілу напружень, що виникають у зоні пластичної деформації, залежить від радіуса кривизни заготовки, що гнеться. У початковій стадії її радіус кривизни великий, заготовки деформується тільки пружно, дана стадія гнуття називається *пружною*.

У міру того як радіус гнуття зменшується периферійні шари заготовки починають деформуватися пластично, оскільки значення в цих шарах окружних напружень σ_θ , що виникають, досягають напружень текучості. Цю стадію називають *пружно-пластичною*. Епюру розподілу напружень σ_θ показано на рис. 3.14, а. При подальшому зменшенні радіусу гнуття пластична деформація зростає, а пружно, відповідно, зменшується та при відносному внутрішньому радіусі гнуття $R_g/s \leq 5$ практично увесь поперечний переріз заготовки знаходиться в пластичному стані, починається чисто *пластична* стадія гнуття. На цій стадії відбувається

помітне зміщення нейтральної поверхні в бік стиснених волокон заготовки, яке збільшується зі зменшенням радіусу гнуття. Епюри розподілу напружень σ_θ , σ_ρ та σ_a за товщиною заготовки на стадії чисто пластичного гнуття показано на рис. 3.14, б).

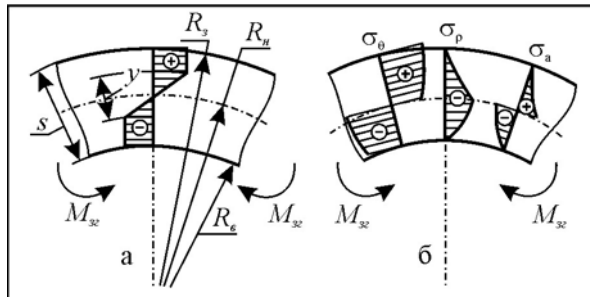


Рис. 3.14. Епюри напружень за товщиною заготовки на стадіях: а – пружно-пластичної; б – пластичної

Розрахунок геометричних параметрів вихідної заготовки. Довжину заготовки, що необхідна для отримання деталі способом гнуття з потрібними розмірами, визначають з умови рівності її довжини та довжини нейтральної поверхні деформацій $L_{n\theta}$, тобто поверхні на якій відсутня деформація.

Для визначення довжини заготовки (розгортки) контур деталі розбивають на прямолінійні та криволінійні ділянки з постійними радіусами кривизни. Довжину заготовки визначають як суму довжин прямолінійних та криволінійних ділянок, причому довжину криволінійних ділянок розраховують за нейтральною поверхнею:

$$L_z = L_{n\theta} = \sum l_i + \sum \frac{\pi \alpha_i R_{ni}}{180}, \quad (3.1)$$

де l_i – довжина прямолінійних ділянок;

R_{ni} – радіус нейтральної поверхні деформацій криволінійних ділянок. За формулою І. П. Ренне та Р. Хілла

$$R_n = \sqrt{R_z \cdot R_g} = \sqrt{(R_g + s) \cdot R_g}, \quad (3.2)$$

або за формулою

$$R_n = R_g + x \cdot s, \quad (3.3)$$

де R_3, R_6 – відповідно, зовнішній та внутрішній радіуси гнуття;
 s – товщина заготовки;
 x – коефіцієнт зміщення нейтральної поверхні (нейтрального шару), який залежить від відносного радіуса гнуття R_6/s та визначається за довідниками.

ПРИКЛАД. Розрахувати довжину вихідної заготовки деталі, що показана на рис. 3.15.

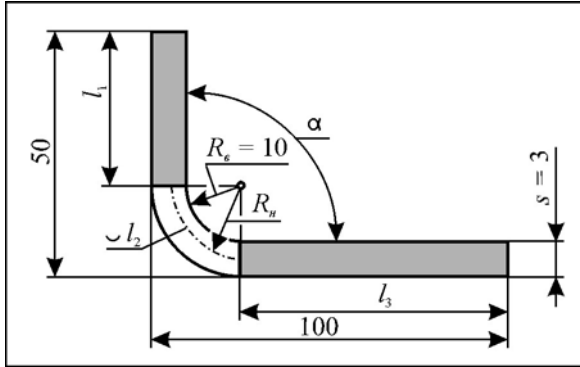


Рис 3.15. До розрахунку довжини вихідної заготовки

Рішення

Довжину вихідної заготовки визначаємо за формулою:

$$L_3 = l_1 + \cup l_2 + l_3;$$

де

$$l_1 = 50 - s - R_6 = 50 - 3 - 10 = 37 \text{ мм};$$

$$\cup l_2 = \frac{\pi R_n \alpha}{180};$$

$$R_n = R_6 + x \cdot s,$$

$$\text{При } \frac{R_6}{s} = \frac{10}{3} = 3,33 \quad x = 0,47 [5].$$

Тоді

$$R_n = 10 + 0,47 \cdot 3 = 11,41 \text{ мм};$$

$$\cup l_2 = \frac{3,14 \cdot 11,41 \cdot 90}{180} = 17,91 \text{ мм};$$

$$l_3 = 100 - s - R_6 = 100 - 3 - 10 = 87 \text{ мм};$$

$$L_3 = 37 + 17,91 + 87 = 141,91 \text{ мм}.$$

Приймаємо $L_3 = 142 \text{ мм}$.

Енергосилові характеристики для одно- та двокутового гнуття. Для визначення зусилля, що деформує при однокутовому гнутті, спочатку розглянемо стадії гнуття (рис. 3.16):

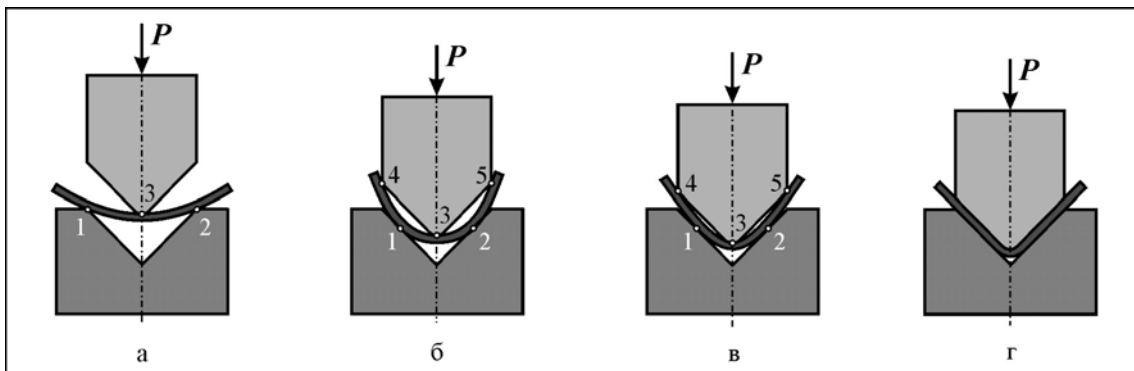


Рис. 3.16. Стадії процесу гнуття в штампі

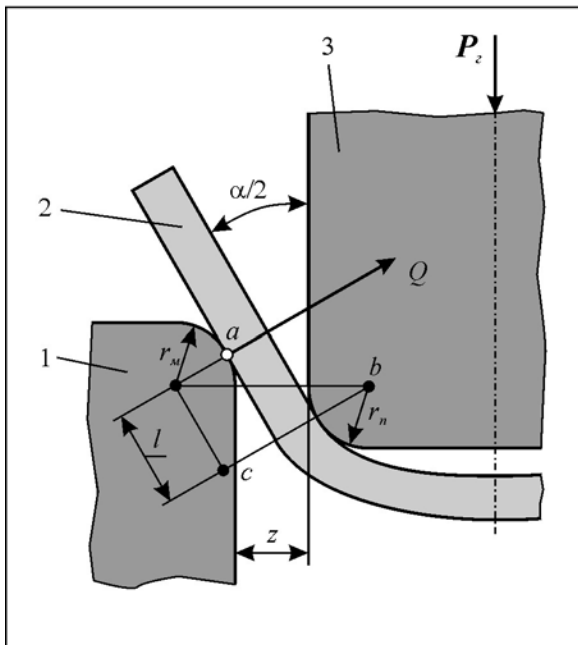
- стадія вільного гнуття: від початку гнуття, коли заготовка торкається матриці у двох точках 1, 2, а пуансона – в одній точці 3 (рис. 3.16, а), до моменту торкання матриці у двох точках 1,2, а пуансона – в трьох точках 3, 4, 5 (рис. 3.16, б);
- стадія ковзання полок заготовки по робочим поверхням пуансона в точках 4, 5 (рис. 3.16, в);
- стадія правлення полок заготовки з одночасним зменшенням радіусу вигину центральної ділянки (рис. 3.16, г).

У зв'язку з тим що практично неможливо зловити момент повного торкання заготовки інструментом, гнуття в штампі закінчується, як правило, прикладанням додаткового зусилля, у результаті чого відбувається *правлення* та калібрування вигнутої частини заготовки. *Зусилля правлення* визначають за формулою:

$$P_n = q \cdot F_k, \quad (3.4)$$

де q – питоме зусилля правлення. Для сталей 25 та 35 воно складає 30-100 МПа, чим товща заготовка, тим q більше;

F_k – проекція контактної поверхні вигнутої ділянки деталі на площину нормальну до напрямку руху пуансона.



Зусилля, що деформує при двокуттовому гнутті. Для отримання П-подібних деталей за один хід пресу заготовку необхідно вигинати одночасно в двох різних поперечних перерізах. Особливості двокуттового гнуття (рис. 3.17):

- між бічними вертикальними гранями пуансона та матриці є зазор $z = (1,1...1,3)z$, який не змінюється в процесі гнуття;
- ділянка заготовки, що знаходиться під горизонтальною гранню пуансона, відходить від неї та вигинається;
- зовнішні сили прикладені до заготовки в двох точках контакту її з пуансоном, при цьому плече гнуття суттєво менше ніж при однокуттовому гнутті.

Рис. 3.17. Схема двокуттового гнуття:

- 1 – нерухома матриця;**
- 2 – заготовка, що гнеться;**
- 3 – рухомий пуансон**

Зусилля в процесі гнуття змінюється (збільшується). Максимальне зусилля двокуттового гнуття з урахуванням правлення в кінцевій фазі процесу, також як і однокуттового гнуття, визначають за формулою (3.4).

Пружні деформації при гнутті та способи їх зменшення. *Однокуттове гнуття.* Пластичний вигин супроводжується пружними деформаціями, які викликають зміну форми та розмірів заготовки: радіуса кривизни та кута між прямолінійними ділянками заготовки (рис. 3.18). Це пояснюється тим, що при розвантаженні шари заготовки, що знаходяться в зоні розтягу, внаслідок пружної деформації скорочуються, а шари, що знаходяться в зоні стиснення, подовжуються. Різноїменні пружні деформації в зонах розтягу та стиснення викликають поворот поперечних перерізів заготовки на так званий *кут пружинення* $\Delta\alpha$, внаслідок чого відбувається зміна радіуса її кривизни та кута вигину.

Пружні деформації (пружинення) слід урахувати при розрахунку розмірів інструмента для гнуття. Це дозволяє усунути трудомісткі операції ручного правлення після штампування. Якщо відомо значення пружинення, що характеризується зміною радіуса гнуття Δr та зміною кута гнуття $\Delta\alpha$, то розміри інструмента (пуансона та матриці) визначають за формулами:

$$r_n = r_o \pm \Delta r ; \quad (3.5)$$

$$\alpha_i = \alpha_o \pm \Delta\alpha . \quad (3.6)$$

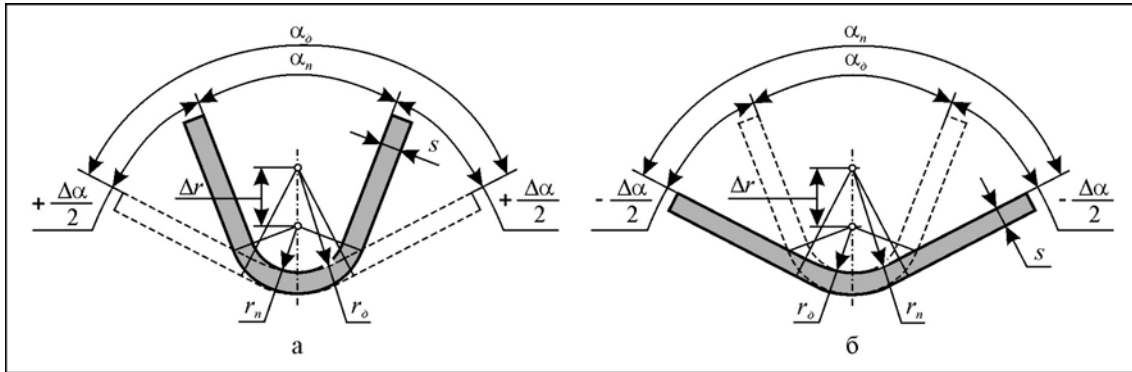


Рис. 3.18. Схеми пружної деформації при однокутовому гнутті: а – «позитивне» пружинення; б – «негативне» пружинення; α_n – кут пуансона (кут деталі після гнуття до розвантаження); α_o – кут деталі після гнуття та розвантаження; $\Delta\alpha$ - кут пружинення; r_n – радіус закруглення пуансона; r_o – радіус деталі після гнуття та розвантаження; s – товщина деталі

Двокутове гнуття. При вільному гнутті, тобто коли матриця має наскрізний провальний отвір та відсутня притискна планка-виштовхувач, заготовки вигинається до моменту, поки її кінці не впруться в бічні грані пуансона. При цьому кут вигину менше $\pi/2$ на $\Delta\alpha$, а радіус вигину r_o може бути більше радіуса округлення робочої частини пуансона r_n (рис. 3.19, а). Одночасно відбувається вигин (випинання) середньої ділянки заготовки, що знаходиться під торцем пуансона. Чим більше зазор між пуансоном та матрицею, тим більше кут $\Delta\alpha$ та випинання середньої ділянки заготовки. При розвантаженні пружно деформуються всі елементи деталі: середня ділянка, полки та кутові ділянки.

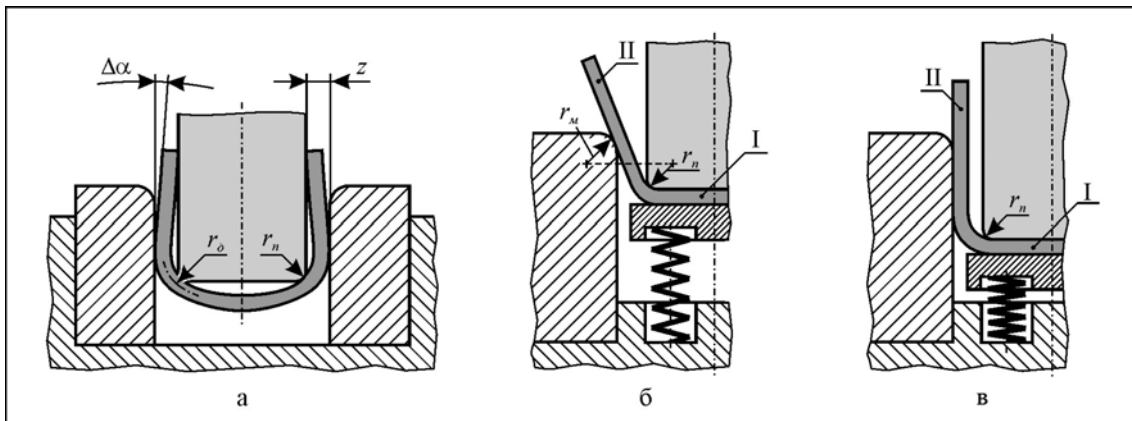


Рис. 3.19. Схеми двокуттового гнуття: а – без притиску заготовки; б – з притиском заготовки (початкова стадія); в – з притиском заготовки (кінцева стадія)

При двокуттовому гнутті із притиском заготовки до торця пуансона (рис. 3.19, б) середня її ділянка не деформується. При цьому кут пружинення можна розглядати як суму кутів пружинення ділянки I, що розташована під торцем пуансона, та ділянки II, що розташована в зазорі між пуансоном та матрицею. Деформація ділянки I закінчується в той момент, коли центри радіусів округлення пуансона й матриці r_n та r_m знаходяться на одному рівні, як показано на рис. 3.19, б. При подальшому опусканні пуансона вигин відбувається тільки внаслідок деформації ділянки II при нерухомій ділянці I (рис. 3.19, в). Виходячи із цих передумов, В. Т. Мещерин та А. Н. Ільїн запропонували номограму для визначення сумарного кута пружинення П-подібних деталей (рис.

3.20), з якої видно, що кут пружності $\Delta\alpha$ зменшується зі зменшенням відносного радіуса вигину \bar{r}_n та зменшенням зазору z .

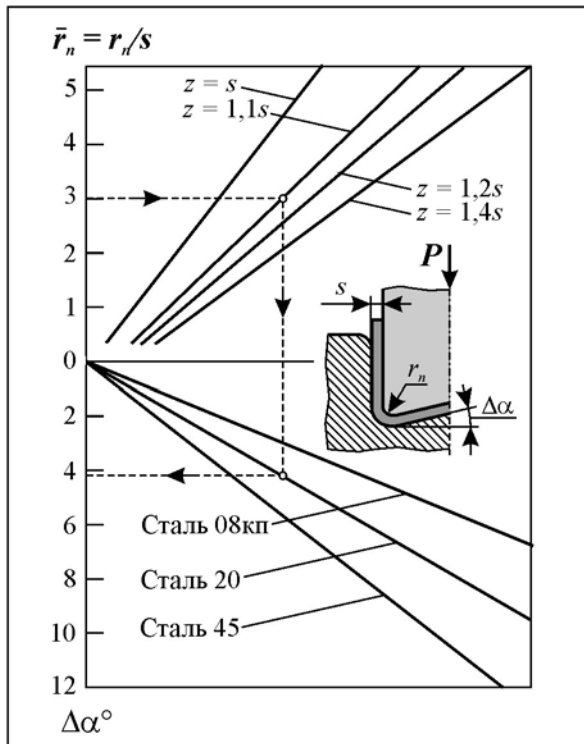


Рис. 3.20. Номограма для визначення сумарного кута пружинення П-подібних деталей

Способи зменшення та компенсації пружних деформацій при гнутті:

- при гнутті V-подібних однокутових деталей кут пружності може бути компенсований корегуванням кутів інструмента (матриці та пуансона);

- при гнутті однокутових деталей у них конструктивно вводяться ребра жорсткості, що перетинають лінію вигину (рис. 3.21), які стримують пружні деформації деталі при розвантаженні;

- застосування спеціальних машин та штампів, за допомогою яких заготовка не тільки гнеться, але й розтягується (або стискується) поздовжніми силами;

- при гнутті двокуткових деталей зменшують бічний зазор між матрицею та пуансоном до величини менше товщини заготовки ($z = 0,9s$) з одночасним виконанням кутового вивільнення полук заготовки відносно пуансона на величину $\Delta\alpha$, шляхом виконання «негативних» кутів (вибірок металу) на пуансоні (рис. 3.22).

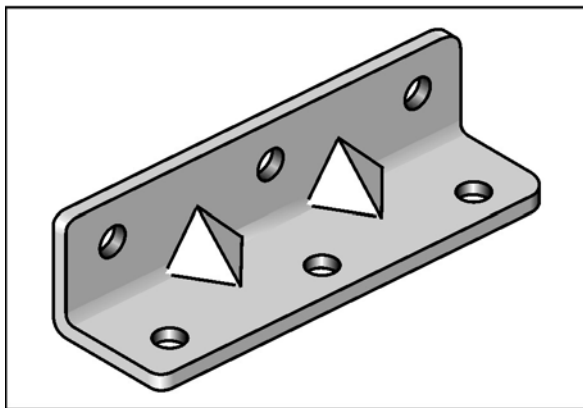


Рис. 3.21. Деталь після гнуття з ребрами жорсткості

Мінімально допустимий радіус гнуття визначають з умови збереження усталеності периферійних шарів заготовки. При гнутті широкої заготовки втрата усталеності приводе, урешті-решт, до появи тріщини в зоні розтягу, а при гнутті на ребро вузької штаби – до появи тріщини в зоні розтягу або складок у зоні стиснення. Мінімально допустимий радіус гнуття визначають аналітично за відомими формулами Г. А. Смірнова-Аляєва та Ю. М. Аришенського [3, с. 104], або визначають за номограмою [3, с. 105].

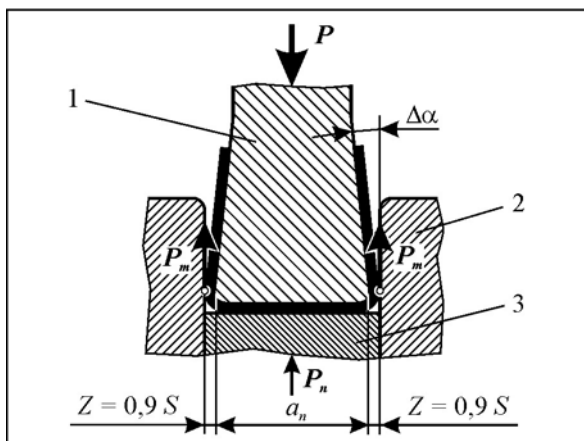
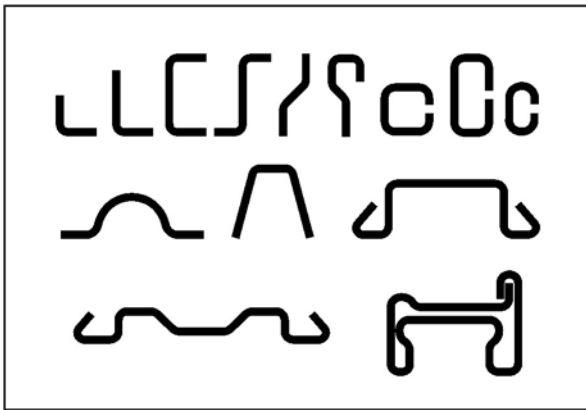


Рис. 3.22. Схема компенсації пружинення матеріалу при П-подібному гнутті за рахунок введення скосів на пуансоні та зменшення зазору z між матрицею та пуансоном: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – притискач-виштовхувач



Гнуття профілів. Вигнуті профілі (рис. 3.23) можуть бути виготовлені способом гнуття в універсальних штампах, що встановлюють на листогнуттєві преси з ЧПК (див. рис. 9), на листогнуттєвих машинах з поворотною балкою та на профілегнуттєвих станах.

Рис. 3.23. Поперечні перерізи вигнутих профілів

У дрібносерійному виробництві вигнуті профілі середніх та великих розмірів виготовляють послідовним по елементним гнуттям на листогнуттєвих пресах та листогнуттєвих машинах спеціального призначення (рис. 3.24).

Рис. 3.24. Приклад по елементного послідовного гнуття

У масовому та великосерійному виробництві (наприклад, виробництво автомобілів) тонкостінні вигнуті профілі невеликих розмірів виготовляють профілюванням на профілегнуттєвих станах.

Гнуття на машинах із поворотним столом. Тонкостінні гнуті профілі 10, що отримані профілюванням, вигинають за допомогою спеціальних машин (рис. 3.25), які працюють за принципом намотування. Машина має поворотний стіл 1 та пневматичний чи гідравлічний циліндр 6 з патрубком 8, на штоку-поршні 5 закріплений натискний ролик 4, або натискна колодка. На столі машини встановлено шаблон 3, форма та розміри якого відповідають внутрішньому контуру деталі, що гнеться. Заготовка 9 одним кінцем закріплюється на шаблоні 3 затискачем 2, після чого стіл 1 починає обертатися та намотувати заготовку 9 на шаблон, яка протягом усього процесу гнуття притискується до шаблону 3 роликком 4. Після вимикання тиску в циліндрі ролик 4 під дією пружини 7 відходить від заготовки у вихідне положення.

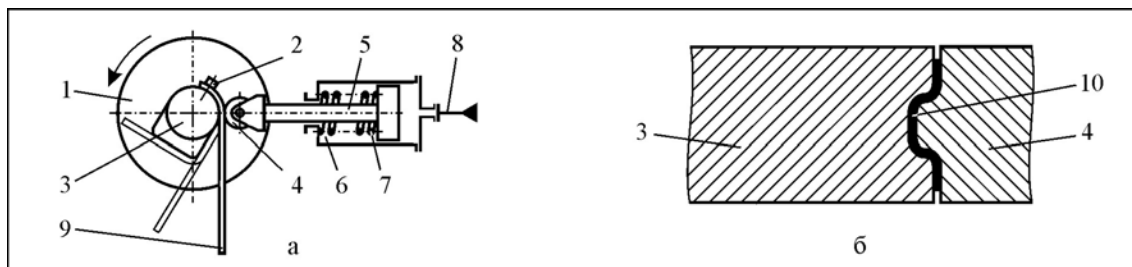
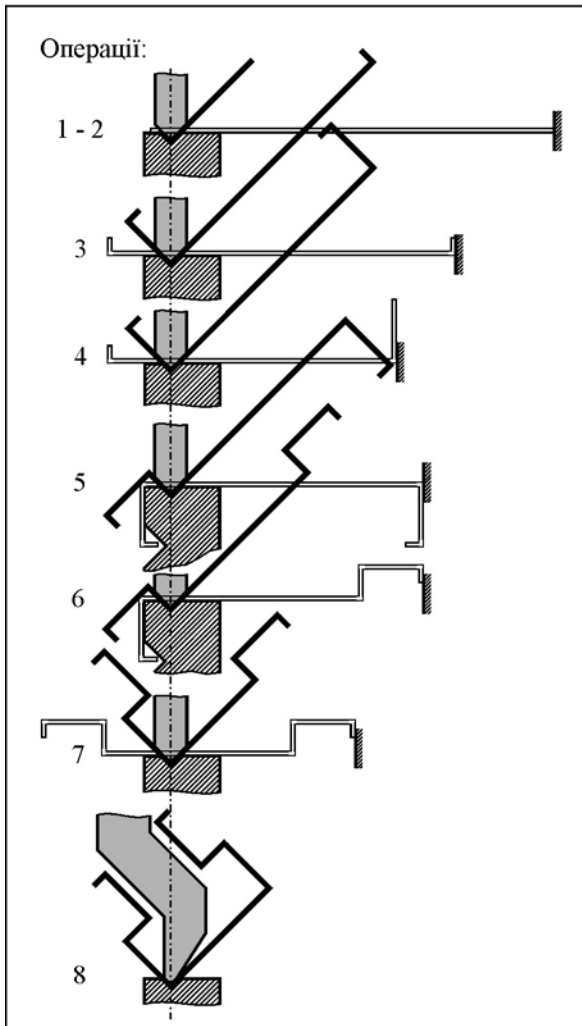


Рис. 3.25. Схема машини для гнуття з поворотним столом: а – схема; б – переріз інструмента

Гнуття з розтяганням. Сутність процесу гнуття з розтягання полягає в тому, що крім зовнішнього моменту, що вигинає, до заготовки прикладають поздовжні сили, що розтягають, які зменшують момент, що вигинає. При цьому точність розмірів вигнутої деталі, що залежить від її пружних деформацій, підвищується пропорційно зменшенню моменту, що вигинає. Указану закономірність можна встановити за допомогою формули, що функціонально зв'язує момент M , що вигинає, та поздовжню силу N , що розтягає, на стадії лінійного чисто пластичного вигину стосовно до вигину заготовки одиничної ширини (N , Н/мм):

$$M = \sigma_s \left(\frac{s^2}{4} - \frac{N^2}{4\sigma_s^2} \right).$$

Аналіз наведеної формули показує, що при збільшенні поздовжньої сили N зовнішній момент M , що вигинає, зменшується (рис. 3.26, а).

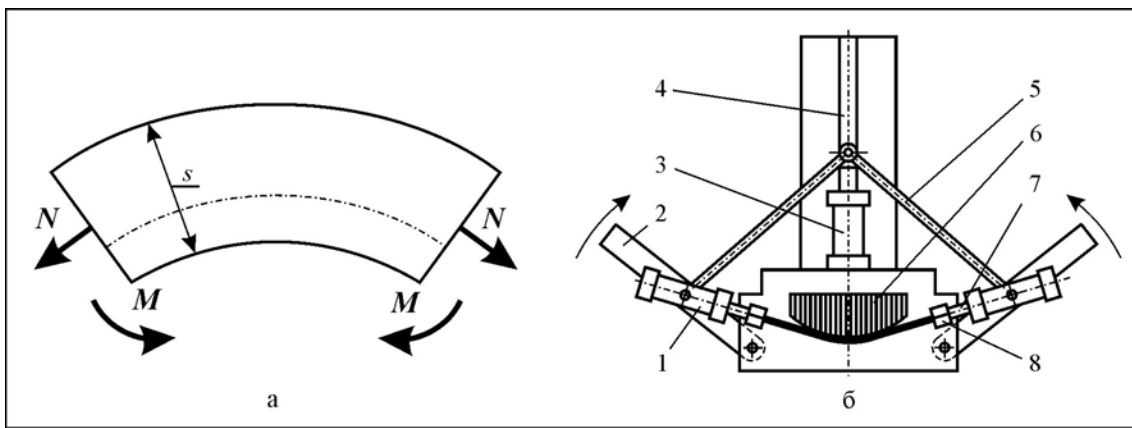


Рис. 3.26. Гнуття з поздовжнім розтяганням: а – схема процесу; б – схема машини моделі «ПГР»; 1 – два гідравлічних циліндра розтягання; 2 – два поворотних кронштейна; 3 – гідравлічний циліндр повороту кронштейнів; 4 – напрямна; 5 – дві тяги; 6 – шаблон; 7 – шток; 8 – цанговий затискач

Гнуття з поздовжнім розтяганням (рис. 3.26, б) здійснюють на спеціалізованих машинах моделі «ПГР», на яких попередньо розтягнуту заготовку вигинають та обтягують навколо шаблону, що має форму та розміри деталі. При цьому пружинення значно менше, однак повністю не виключається.

Гнуття з поздовжнім розтяганням відносно невеликих деталей може здійснюватися в штампах (рис. 3.27, а), особливість яких полягає в тому, що вони мають два бічних повзуна 3, які при опусканні матриці 1 опускаються вниз, а заготовка 2, що на них спирається, не тільки вигинається, але й розтягується.

Крім того, застосовують гнуття з поздовжнім стисненням заготовки в штампі (рис. 3.27, б). Заготовку встановлюють на поворотні опори 2. Далі опускають матрицю 1 та згинають заготовку за пуансоном 3. У кінці ходу периферійні частини заготовки впираються в запліччя 4 нижньої плити штампа, внаслідок чого виникають поздовжні сили, які стискають заготовку, що зменшує момент, необхідний для пластичного вигину заготовки. Це підвищує точність розмірів деталі. Крім того, стає можливим отримання двокутових деталей із радіусом гнуття менше товщини заготовки.

Гнуття труб. Гнуття труб на відносно малі радіуси має свої особливості, що зв'язані із втратою усталеності, яка приводе до складкоутворення в зоні стиснення. Критичний радіус вигину, при якому заготовка знаходиться на грані втрати усталеності, залежить від відносної товщини стінки труби, механічних властивостей її матеріалу, радіусу гнуття, допустимого потоншення стінки, допустимої овалізації поперечного перерізу труби в зоні гнуття тощо. Наближено відносний критичний радіус гнуття труби, при якому відсутні складки, можна визначити за емпіричною формулою:

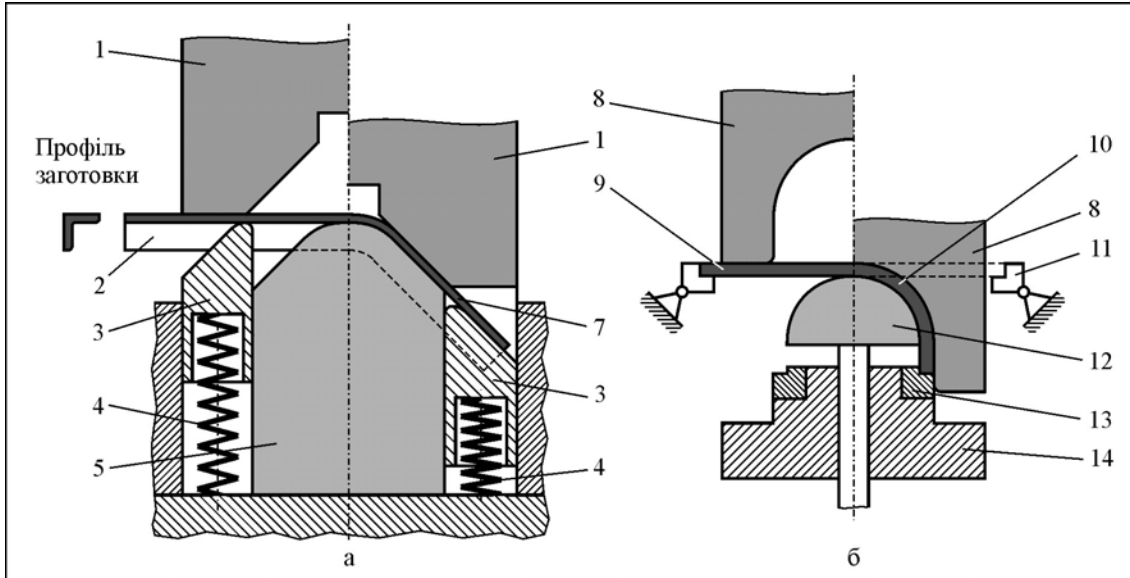
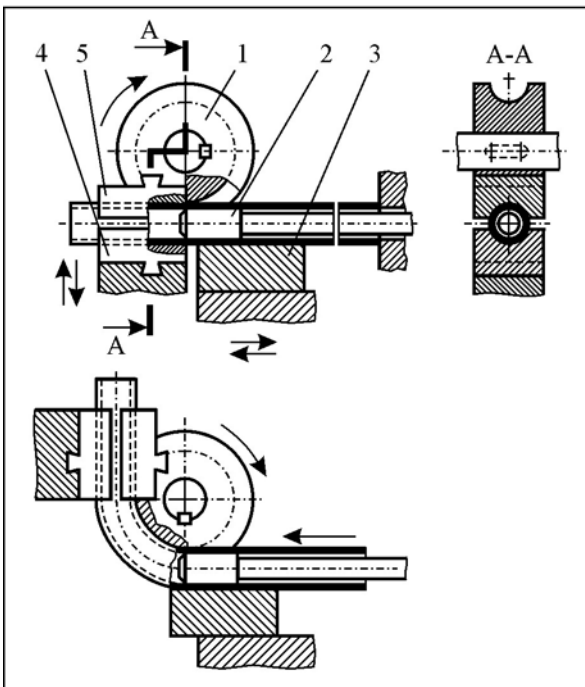


Рис. 3.27. Схеми штамів для гнуття: а – з поздовжнім розтяганням; б – з поздовжнім стисненням; 1 – матриця I; заготовка I до гнуття; 3 – бічний повзун; 4 – пружина; 5 – пуансон I; 6 – пуансон II; 7 – заготовка I після гнуття; 8 – матриця II; 9 – заготовка II до гнуття; 10 – заготовка II після гнуття; 11 – поворотна опора; 12 – пуансон II; 13 – запліччя; 14 – нижня плита



$$\bar{r} = \frac{r_{\min}}{D_3} \approx 9,25 \sqrt{0,2 - \frac{s}{D_3}},$$

де D_3 - зовнішній радіус труби;

s - товщина стінки труби.

При необхідності гнуття труби на радіуси менше критичних застосовують різні способи гнуття, до числа яких відноситься *гнуття намотування з оправленням-дорном*, що знаходиться усередині труби. Діаметри труб – 10...300 мм (рис. 3.28).

Рис. 3.28. Інструмент для гнуття намотуванням

Комплект інструмента складається з поворотного ролика-шаблону 1, затискних колодок 4 та 5, оправлення-дорна 2, що підтримує та калібрує, і опорної колодки 3. Комплект змінного інструмента встановлюють на спеціальну трубогнуттєву машину

(наприклад, моделі ТГС-2), на головному валу якої жорстко закріплюється шаблон 1. Заготовка у вигляді відрізка труби надягається на оправлення-дорн 2 до упору, що регулюється, та закріплюється в канавці шаблону 1 за допомогою затискних колодок 4 та 5. Після вмикання машини шаблон 1 повертається на потрібний кут гнуття та зупиняється, при цьому заготовка намотується на шаблон та одночасно знімається з оправлення-дорна 2, який жорстко закріплений на станині машини. Натискна колодка 3 під дією сили тертя переміщується разом із прямолінійною ділянкою труби, підтримуючи її та притискуючи до шаблону 1. Для запобігання викривлення поперечного перерізу труби застосовують оправлення-дорни (рис. 3.29): суцільні (або жорсткі) та складені (або гнучкі), що виготовляються із зносостійких сталей та термічно

оброблені до твердості 52...58 HRC_e. Коли риси не допускаються, використовуються оправлення-дорни з текстоліту марки ПТ.

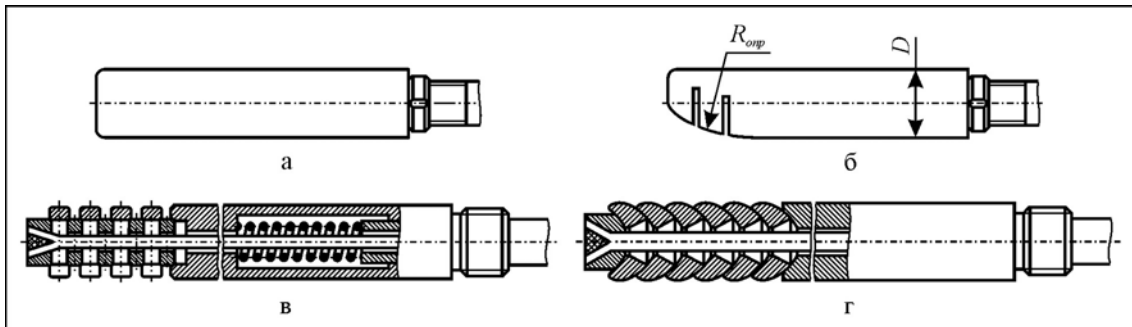


Рис. 3.29. Суцільні (а, б) та складені (в, г) оправлення-дорни

Гнуття з локальним нагріванням. Сутність даного способу гнуття полягає в тому, що заготовка-труба безперервно переміщується крізь індуктор, який струмом високої частоти нагріває вузьку кільцеву її ділянку (температура нагрівання до 800...900°), яка, власне, подальше деформується (рис. 3.30).

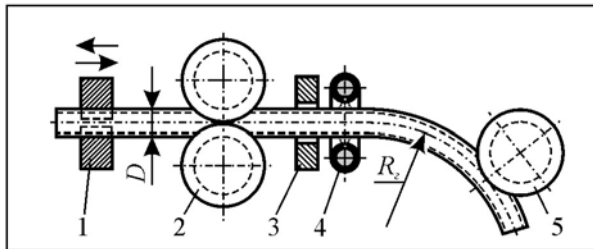


Рис. 3.30. Схема установки для гнуття труб з локальним нагріванням:

- 1 – каретка, що подає;
- 2 – напрямні ролики;
- 3 – індуктор;
- 4 – душовий пристрій для водяного охолодження труби, що згинається;
- 5 – ролик, що згинає

Переваги:

- можливість гнуття труб на малі радіуси без застосування спеціальних засобів;
- можливість автоматизації процесу гнуття;
- мала овальність поперечного перерізу труби тощо.

Недоліки:

- низька продуктивність процесу (швидкість переміщення труби – 0,2...4,0 мм/с);
- висока собівартість процесу;
- великі розміри та площа електрогенераторної установки.

Складне гнуття. При складному гнутті форма деталі забезпечується за рахунок просторового деформування заготовки. Складне гнуття як правило виконується послідовно в штампах за дві та більше операцій (наприклад, I гнуття, II гнуття, ...). Для забезпечення якісного гнуття (усталеності заготовки на другій та подальших операціях) заготовку деформують за схемою всебічного нерівномірного стиснення.

Інші види гнуття. Гнуття на автоматах із приводом від центральної шестерні. Деталі виготовляються зі стрічки або дроту. Поперед позиції гнуття на автоматі розташований штампувальний прес для виконання розділових та інших підготовчих операцій, які потрібно здійснити до початку гнуття. Після відокремлення від неперервного прокату, заготовка подається на позицію гнуття, де послідовно вигинається елементарними прийомами до отримання потрібної форми деталі. Приклад переходів за фазами штампування скоби із дроту на автоматі із приводом від центральної шестерні наведено на рис. 3.31:

- фаза 1. Дріт, що минув штампувальну позицію, автоматично подається до упора 7, розташованого на позиції гнуття, і притискається притискачем 1 до оправки 2;
- фаза 2. При опусканні повзунка позиції гнуття ніж 3 відрізує заготовку, а пуансон 4 надає їй Л-подібну форму на оправці 2;

- фаза 3. Пуансон-притискач 5 притискає один кінець заготовки до оправки 2, а пуансон 6 здійснює хвилеподібне гнуття другого кінця заготовки;

- фаза 4. Оправка 2 частково відходить у середину пристрою, залишаючи на робочій позиції свою циліндричну частину для підгинання деталі (з урахуванням кута пружинення). Пуансон 5 при підтримки пуансона 4 після деякого вистою збільшує вигин правого кінця деталі, і тим самим усуває деформацію від пружинення. Після цього пуансони 4, 5 та 6 одночасно розходяться, а оправка 2 відходить далі углиб план-шайби, і готова скоба падає під дією сили ваги в лоток, і далі в тару. Потім центральна оправка 2 повертається в початкове положення, і цикл повторюється.

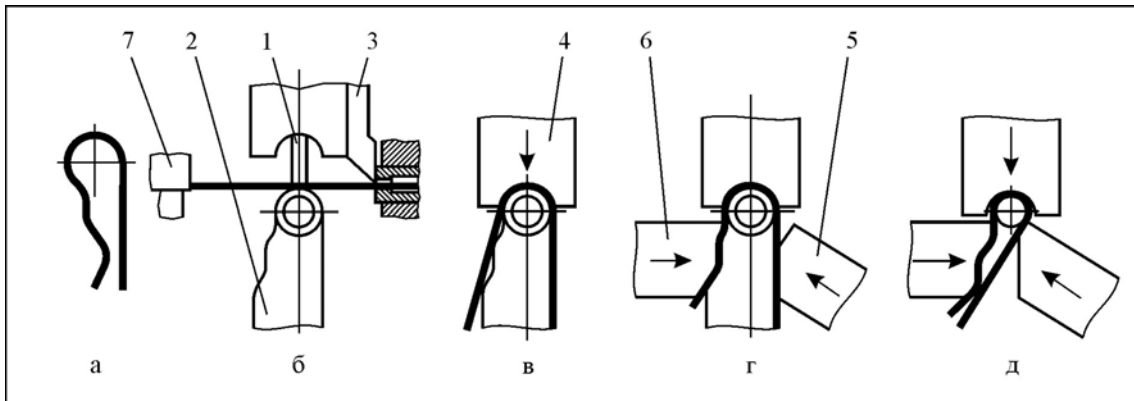


Рис. 3.31. Виріб (а) та послідовність переходів (фаз) гнуття: б – фаза 1; в – фаза 2; г – фаза 3; д – фаза 4

У масовому та великосерійному виробництві застосовують *гнуття труб у штампах*, установлених на кривошипні преси та гнуттєво-горизонтальні машини (ГГМ). Область застосування штампів – гнуття труб із відносною товщиною стінки $s/D \geq 0,06$ на радіус не менше 2-3 діаметрів заготовки (при гнутті без наповнювача). Конструктивні особливості штампів: наявність в інструменті канавки, що повторює форму та розміри заготовки; використання поворотних колодок та роликів для зменшення сил тертя та запобігання утворення задирки.

3.3. Витягування

Способи витягування. Витягуванням отримують порожнисті деталі різної форми із плоских листових або порожнистих тонкостінних заготовок, що не потребують, як правило, подальшої обробки, крім обрізування нерівного краю. До них відносяться:

- деталі, що мають форму тіл обертання: днища котлів та різних циліндричних резервуарів, металевий посуд, деталі освітлювальної апаратури (наприклад, фари) тощо;
- деталі коробчастої форми: паливні баки двигунів внутрішнього згорання, бідони, тара для продуктів консервного виробництва тощо;
- деталі, що мають одну вісь симетрії або асиметричні: авто кузовні деталі (дах, двері, капот тощо);
- циліндричні деталі, у яких товщина дна більша товщині стінок: артилерійські гільзи, гільзи стрілецької зброї, металевий посуд із товстим дном тощо.

Перераховані деталі можуть мати діаметр (або довжину) – від декілька міліметрів до декілька метрів та товщину стінки – від десятих часток до десятків міліметрів.

Витягують деталі за одну або декілька операцій або переходів (рис. 3.32).

Виготовлення деталей витягуванням здійснюється без нагрівання заготовки, у холодному стані. Виключення – витягування товстостілого металу (товщиною над 20 мм) з нагріванням для зменшення зусилля деформування. При витягуванні заготовок з алюмінієвих сплавів для підвищення ступеня деформації за одну операцію застосовують місцеве (локальне) електронагрівання зони пластичної деформації.

Для виготовлення деталей витягуванням застосовують матеріал, що володіє високими пластичними властивостями (наприклад, сталь 08кп, алюміній та його сплави, мідь, латунь тощо).

Перше витягування здійснюють у спеціальних штампах без притискного кільця та із притискним кільцем (рис. 3.33).

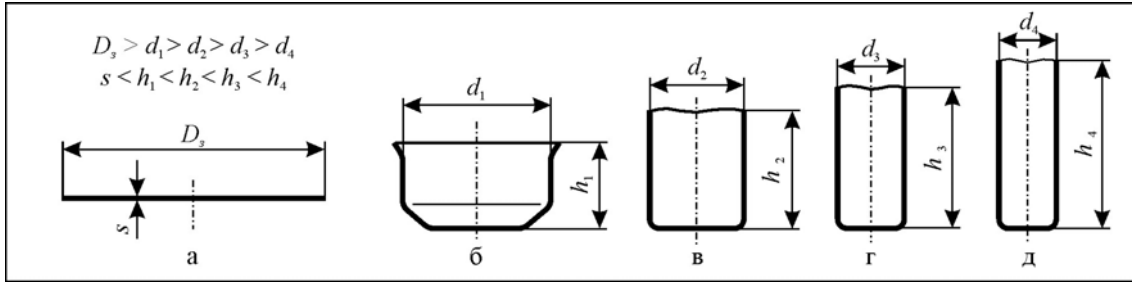


Рис. 3.32. Схема переходів (операцій) витягування високої деталі: а – заготовка; б – I перехід; в – II перехід; г – III перехід; д – IV перехід

Застосовують два основних способи витягування:

- без штучного зменшення товщини стінки (витягування без потоншенням стінки);
- зі штучним, навмисним зменшенням товщини стінки (витягування з потоншенням стінки), у тому числі комбіноване витягування.

Витягування без потоншення стінки характеризується суттєвим зменшенням діаметру заготовки при приблизно незмінній товщині стінки деталі, що витягується. Витягування здійснюють із зазором між пуансоном та матрицею, який дорівнює або більше товщині заготовки ($z \geq s$).

Витягування з потоншенням стінки характеризується суттєвим зменшенням товщини стінки при відносно малому зменшенні діаметру заготовки. При даному витягуванні зазор $z < s$.

У процесі витягування без потоншення стінки у фланці заготовки одночасно виникають напруження, що розтягають σ_p та що стискають σ_θ (рис. 3.33, а). Напруження, що стискають σ_θ , діють в окружному напрямку та при певному співвідношенні діаметрів заготовки та виробу можуть викликати появу складок у фланці (явище втрати усталеності). Втягування складок у зазор приводить до обриву дна. Для усунення складкоутворення в штампах для витягування передбачають притискне кільце (притискач), який притискає фланець до матриці й тим самим перешкоджає складкоутворенню (рис. 3.33, б). У зв'язку із цим розрізняють два способи витягування без потоншення стінки: із притиском фланця заготовки та без притиску фланця заготовки.

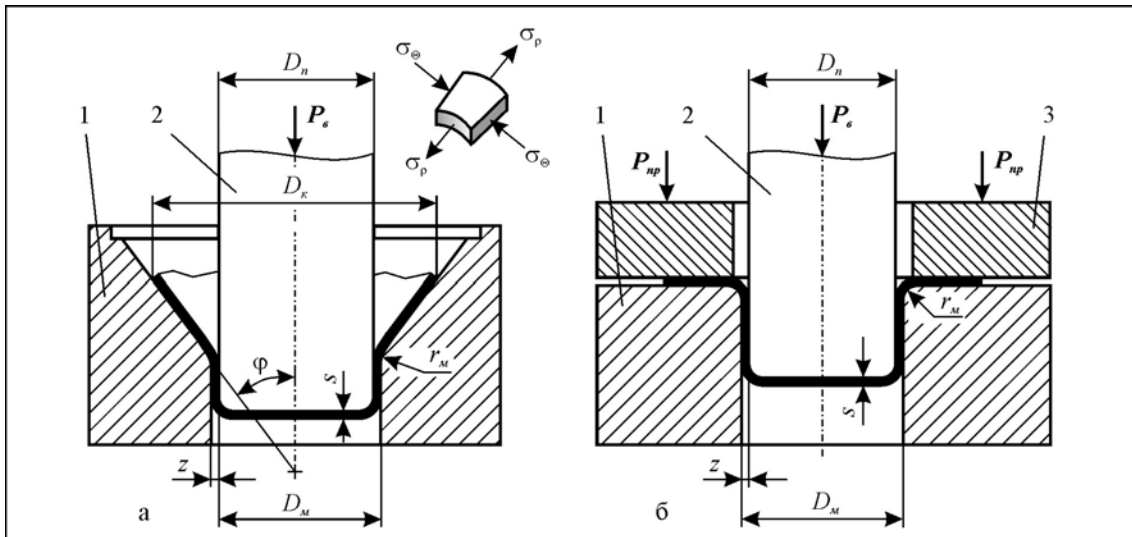


Рис. 3.33. Схема штамів для першого витягування: а – без притиску фланця заготовки; б – з притиском фланця заготовки

Витягуванням за одну операцію можна отримати відносно неглибокі деталі, висота яких не перевищує 0,7...0,8 діаметра. При витягуванні більш високих деталей напруження, що розтягають, зростають настільки, що може наступити відрив дна. У зв'язку із цим процес витягування необхідно поділити на декілька переходів, що дозволяє зменшити напруження в стінках виробу, що розтягають.

У процесі витягування матеріал заготовки зміцнюється, його пластичні властивості погіршуються. Тому витягування високих деталей здійснюють за декілька послідовних переходів (операцій), а між операціями при необхідності проводять рекристалізаційний відпал напівфабрикатів для знімання зміцнення (див. рис. 3.32).

Подальші переходи (операції) витягування здійснюються в штампах із притиском порожнистої заготовки (рис. 3.34, а) або без її притиску (рис. 3.34, б) в залежності від відносної товщини заготовки та ступеню деформації.

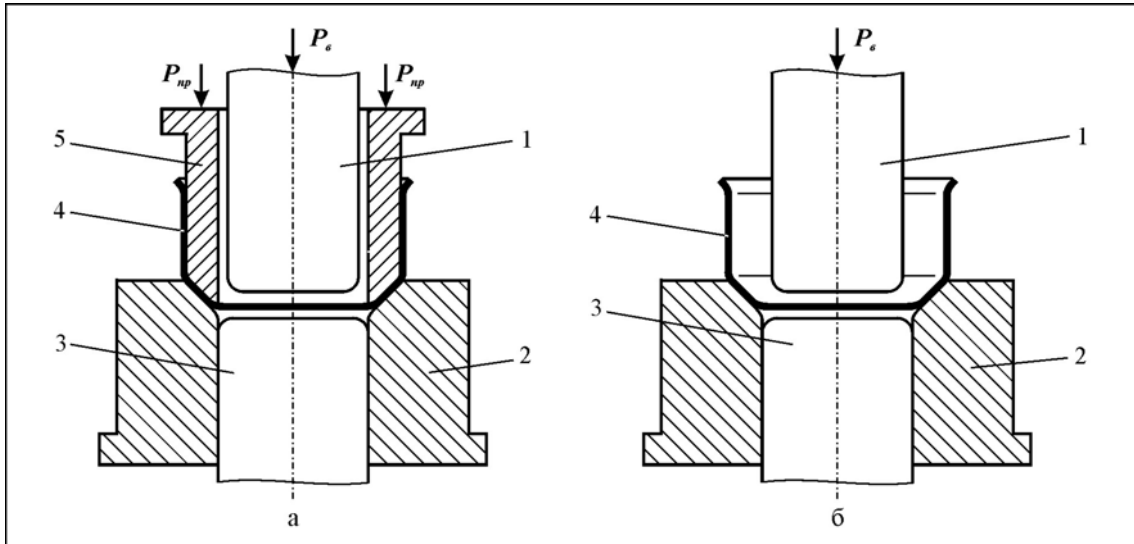


Рис. 3.34. Схеми штампів для подальшого витягування (початкова фаза штампування): а – з притиском порожнистої заготовки; б – без притиску порожнистої заготовки; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виштовхувач; 4 – порожниста заготовка; 5 – притискач

У випадку, коли пуансон передає тиск на порожнисту заготовку із внутрішнього боку дна (див. рис. 3.34), спосіб витягування називають *прямим*. Якщо пуансон передає тиск на порожнисту заготовку із зовнішнього боку дна (рис. 3.35), спосіб витягування називають *реверсивним* (зворотним). Останній застосовується для витягування деталей складної форми (наприклад, з подвійним дном або подвійними стінками).

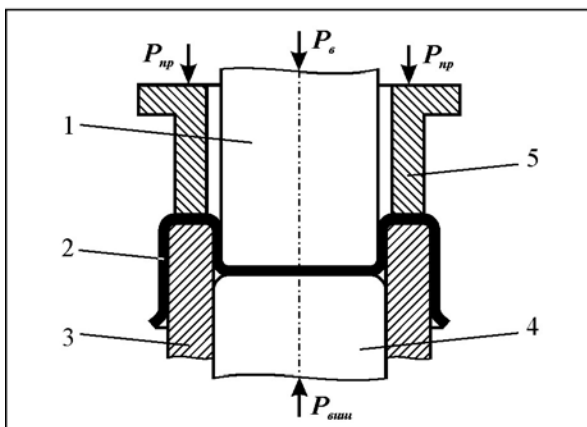


Рис. 3.35. Схема штампа для реверсивного витягування

Обладнання для витягування.

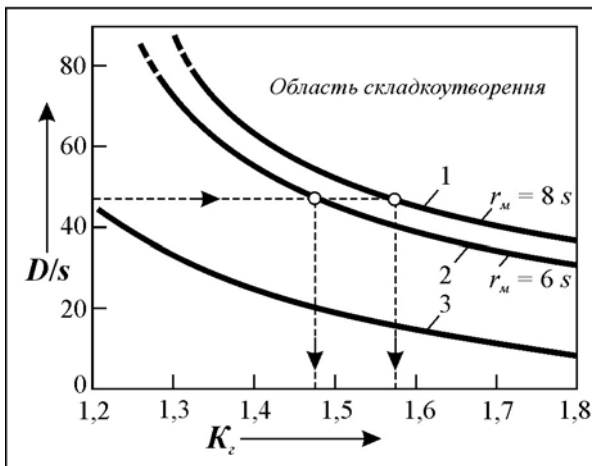
Витягування здійснюють на кривошипних пресах простої та подвійної дії.

Витягування без притиску заготовки. Можливість витягування без притиску регламентується двома факторами:

- при відносно малій товщині заготовки – складкоутворенням конічного фланця від дії окружних напружень σ_{θ} , що стискають;

- при відносно великій товщині – локальною деформацією за товщиною стінки, що завершується розривом у зоні спряження дна та стінки деталі.

За даними Е. Н. Мошніна можливість складкоутворення при витяганні в матриці з округленою робочою кромкою може бути встановлена за допомогою межових кривих, що побудовані за результатами використання рівнянь теорії усталеності та теорії пластичної течії при

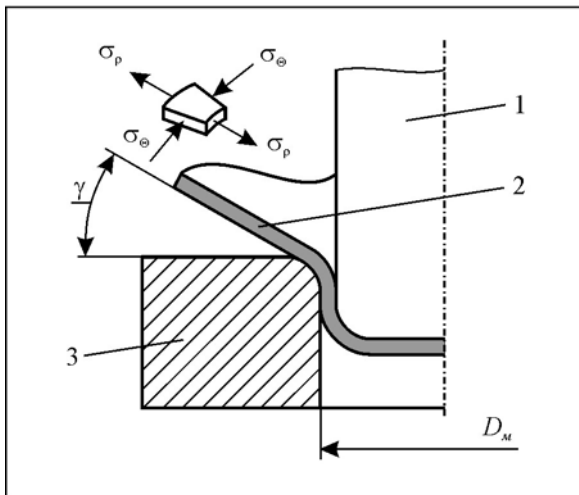


різних радіусах округлення матриці r_m (криві 1 та 2 на рис. 3.36), з підвищенням яких межа ступінь деформації, що характеризується коефіцієнтом K_z , збільшується.

Рис. 3.36. Межові криві, що встановлюють області штампування та складкоутворення при витягуванні без притиску заготовки: 1, 2 – за даними Е. Н. Мошніна; 3 – за даними Л. А. Шофмана

Можливість витягування без притиску заготовки можна встановити за умовою, запропонованою Л. А. Шофманом:

$$D_0 - d \leq (18 \dots 22)s.$$



У початковий момент витягування без притиску заготовки в круглій матриці спостерігається вигин фланця відносно робочої кромки на деякий кут γ (рис. 3.37).

Рис. 3.37. Початковий момент витягування без притиску заготовки: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця

Поворот фланця відбувається під дією моменту, що вигинає, який виникає внаслідок зміщення сил, що прикладені до заготовки з боку пуансона та матриці. Фланець заготовки 2 набуває кінчної форми. Якщо матрицю для витягування без притиску заготовки зробити кінчною, то імовірність складкоутворення зменшується. Діаметр вхідної частини конуса матриці D_e

повинен бути трохи меншим діаметра вихідної заготовки D_0 (рис. 3.38) [6]:

$$D_e \approx 0,9D_0. \quad (3.7)$$

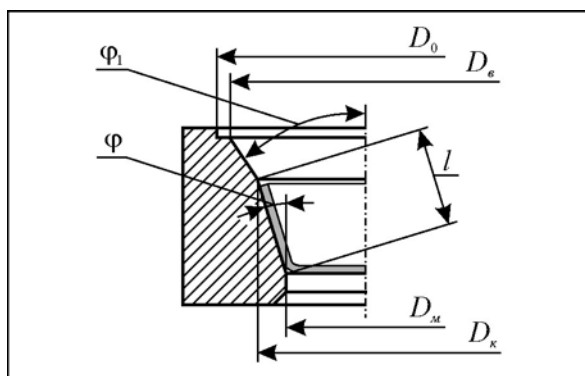


Рис. 3.38. Двоконусна матриця для витягування без притиску заготовки

При куті нахилу твірної конуса $\varphi = 15^\circ$ та виконання умови (3.7) матриця отримується відносно високою. Висоту матриці можна зменшити, якщо використовувати двоконусну матрицю: верхня має кут $\varphi_1 = 30 \dots 45^\circ$, а нижня - $\varphi = 12 \dots 15^\circ$ (див. рис. 3.38).

Витягування без притиску заготовки можна виконувати в матриці, у якій твірна робочої порожнини має форму *трактиси*. При цьому підвищується критична ступінь деформації при одночасному підвищенні зносостійкості матриці. Але вартість матриці підвищується.

Витягування із притиском заготовки. При витягуванні із притиском заготовки розрізняють *дві стадії*:

- початкову, коли тільки починається витягування заготовки в матрицю та кут охоплення заготовкою округлених робочих ділянок пуансона та матриці малий $\alpha < \pi/2$ (рис. 3.40, а);
- подальшу, коли $\alpha \approx \pi/2$ (рис. 3.40, б).

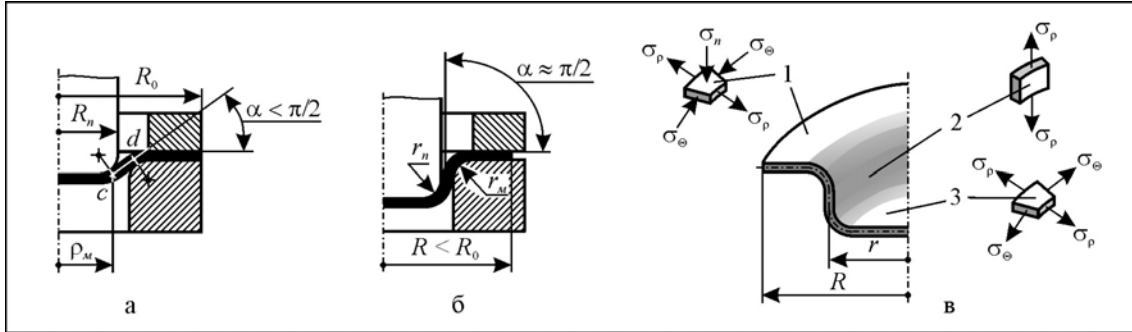


Рис. 3.39. Схема витягування з притиском заготовки: а – початкова (перша) стадія; б – подальша (друга) стадія; в – напружений стан заготовки в момент другої стадії витягування; 1 – ділянка кільцевого фланцю; 2 – циліндрична ділянка; 3 – донна ділянка

На початковій стадії витягування відбувається зменшення товщини заготовки у вогнищі деформації, що являє собою кільцеву ділянку шириною $c - d$ (небезпечна зона), при цьому радіус заготовки R_0 не змінюється.

При подальшому збільшенні зусилля витягування вогнище пластичної деформації зростає, поступово розповсюджується на фланець та, частково, на донну частину заготовки. Після того як весь фланець буде охоплений пластичною деформацією, починається друга стадія витягування, що характеризується збільшенням кута охоплення α та зменшенням радіуса фланця ($R_\phi < R_0$).

Коли кут охоплення α наближається до $\pi/2$ (повне охоплення), центри радіусів r_n та r_m округлення робочих кромek пуансона та матриці знаходяться приблизно на одному рівні (див. рис. 3.40, б).

У момент другої стадії витягування три ділянки заготовки знаходяться в різних умовах напруженого стану (рис. 3.40, в):

- ділянка кільцевого фланцю 1;
- циліндрична ділянка 2;
- донна ділянка 3.

Ділянка кільцевого фланцю 1 випробує плоский напружений стан, так як напруження стиснення σ_n від притискного кільця штампа мале порівняно з напруженням текучості σ_s , а при витягуванні без притиску – зовсім відсутнє. На елементарний об'єм цієї ділянки в радіальному напрямку діють напруження, що розтягають σ_p , а в окружному (тангенціальному) напрямку – напруження, що стискають σ_θ (див. рис. 3.40, в).

При витягуванні діаметр фланця зменшується, саме в ньому зосереджено вогнище пластичної деформації. Однак, для початку та подальшої пластичної формозміни фланця необхідно, щоб співвідношення між напруженнями σ_p та σ_θ було цілком певним. Відповідно умови пластичності Губера-Мізеса:

$$|\sigma_p| + |\sigma_\theta| = \beta \sigma_s. \quad (3.8)$$

Циліндрична ділянка 2 внаслідок тиску пуансона знаходиться в умовах, близьких до лінійного розтягання. У цьому випадку виникають напруження, що розтягають σ_p , які повинні бути менше напружень текучості ($\sigma_p < \sigma_s$). Якщо ця умова не буде виконана, відбудеться локальне потоншення стінки, а далі відрив дна. Ділянка, що розглядається деформується пружно у

відміну від фланця, який деформується пластично, незважаючи на те, що в ньому $\sigma_p < \sigma_s$ [див. рівняння (3.8)].

Донна ділянка 3 випробує двоосне розтягування. Також, як і циліндрична ділянка, дно стакана деформується пружно. При цьому нормальні напруження, що розтягають та діють у радіальному та окружному напрямках, завжди менше напружень текучості матеріалу заготовки: $\sigma_p < \sigma_s$ та $\sigma_\theta < \sigma_s$.

Кільцевий фланець деталі, що витягується називають зоною пластичної деформації, а циліндричний та донний – зонами передавання зусилля.

Поперечний переріз деталі з найменшою товщиною стінки називають небезпечним, власне в ньому деталь руйнується, відбувається відрив дна (рис. 3.40).

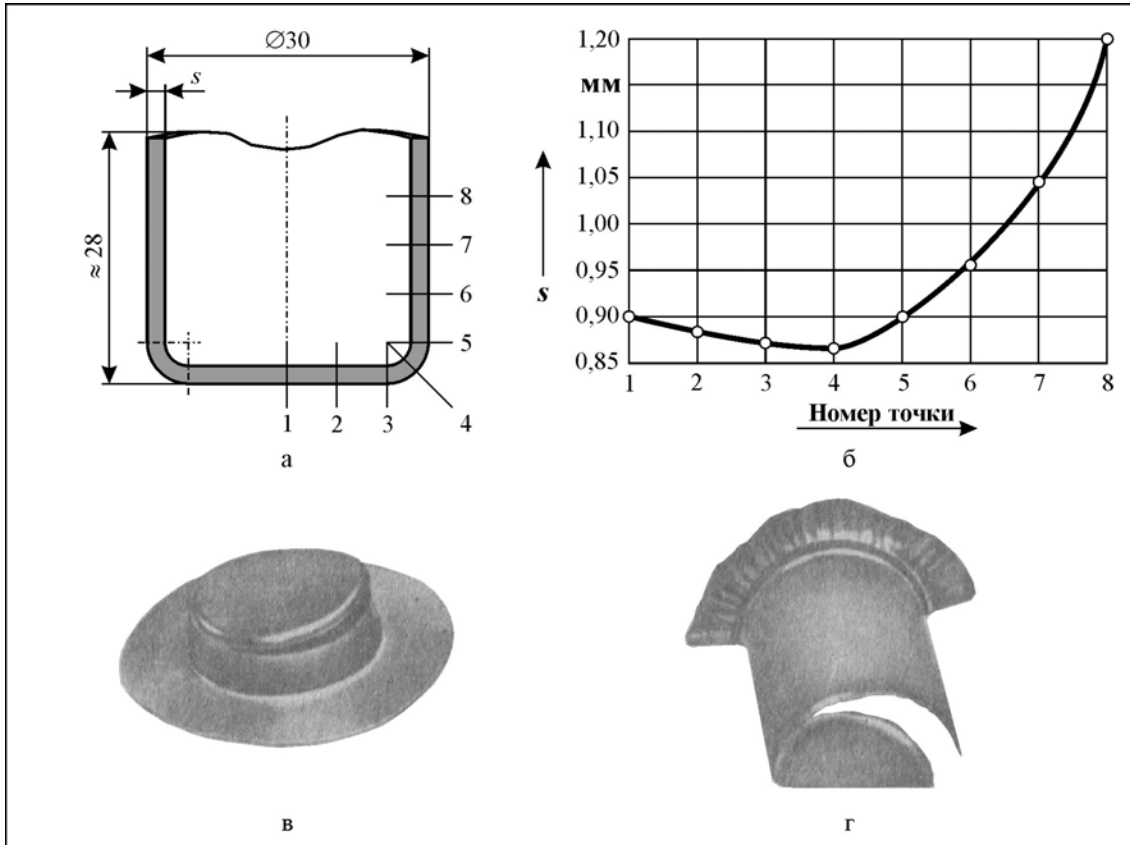


Рис. 3.40. Характер зміни товщини стінки при витягуванні циліндричних деталей: а – схема розташування точок виміру товщини стінки s ; б – залежність товщини стінки s від номеру точки; в, г – приклади деталей з відірваним дном

Технологічні розрахунки. Розміри та форма заготовки. Виходячи з того, що незначна зміна товщини заготовки після витягування не впливає на зміну площі поверхні деталі, діаметр заготовки D_0 можна визначити з умови $F_{dem} = F_{zag}$. Так, для деталей, що мають круглу форму

$$D_0 = 1,13\sqrt{F_{dem}} = 1,13\sqrt{\sum f_i}, \quad (3.9)$$

де f_i – площа елементарної ділянки деталі по середній лінії (рис. 3.41).

При розрахунку діаметра заготовки для витягування осесиметричної деталі необхідно враховувати припуск на обрізування хвилястої кромки, яка утворюється внаслідок площинної анізотропії механічних властивостей матеріалу заготовки. Випуклі ділянки кромки називають *фестонами*, їхня висота досягає 20 % висоти деталі (рис. 3.42, а, б,).

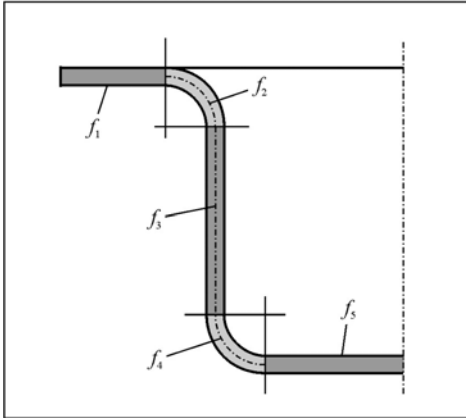


Рис. 3.41. Схема поділу поверхні деталі на геометричні прості елементи (ділянки)

Після витягування фестони вилучаються обрізуванням (рис. 3.42, в), яку здійснюють ступінчастим пуансоном (із напрямним елементом, рис. 3.42, г) з подальшою додатковою операцією витягування (рис. 3.42, д).

При обрізуванні за схемою «відкушування», (рис. 3.42, е), діаметр матриці дорівнює зовнішньому діаметру деталі.

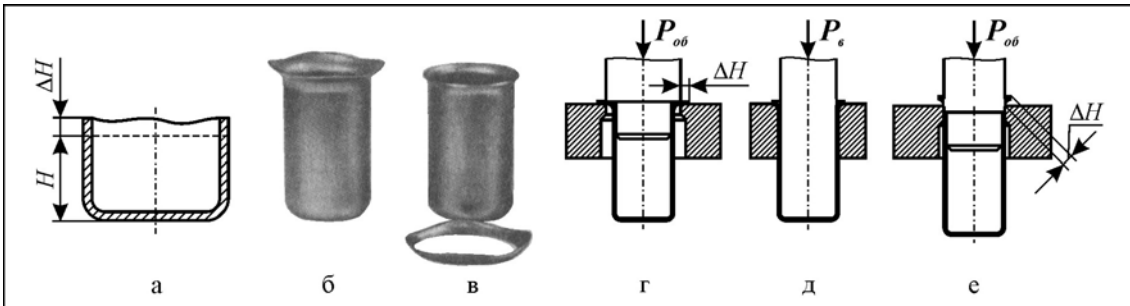


Рис. 3.42. Фестони та способи їх вилучення: а – креслення деталі з фестонами; б – деталь з фестонами; в – деталь з обрізаними фестонами; г, д – обрізування фестонів з подальшим витягуванням; е – «відкушування» нерівного краю в штампі

Силкові умови. Деформуюче зусилля. За В. П. Романовським деформуюче зусилля при витягуванні визначається за формулою:

$$P_e \cong \xi \sigma_e \pi d s, \quad (3.10)$$

де σ_e - тимчасовий опір розриванню;

$\pi d s$ - площа поперечного перерізу циліндричної деталі;

ξ - поправочний коефіцієнт, що залежить від ступені деформації, відносної товщини заготовки, а також номеру переходу витягування.

Зусилля притиску Q заготовки повинно задовольняти двом умовам:

- воно повинно бути не настільки великим, щоб визвати відривання дна при витягуванні;
- воно повинно бути не настільки малим, щоб утворювалися складки в зоні пластичної деформації.

Воно розраховується за формулою:

$$Q = q F_{\text{фл}}, \quad (3.11)$$

де q – питома зусилля;

$F_{\text{фл}}$ – площа фланця.

Роботу деформування можна визначити за формулою:

$$A = \pi r^2 (K_e - 1) s \sigma_s \left[\ln K_e - \frac{K_e^2 - 1}{4K_e^2} + \frac{2\mu Q}{\pi r s (K_e + 1) \sigma_s} + \frac{s}{2r_m + s} \right] (1 + 1,6\mu), \quad (3.12)$$

де $K_e = D/d$ - коефіцієнт витягування;

μ - коефіцієнт тертя;

Q – зусилля притиску.

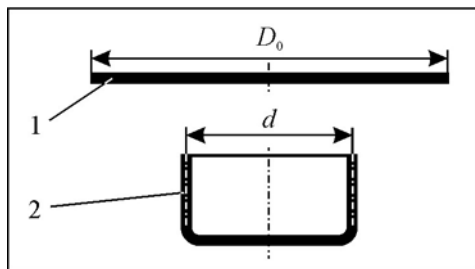
Критична ступінь деформації. Ступінь деформації ψ та коефіцієнт витягування K_e зв'язані залежністю

$$\psi = \frac{(K_e - 1)}{K_e}, \quad (3.13)$$

з якої виходить, що чим більше ступінь деформації (відносно скорочення діаметру деталі, що витягується), тим більше значення K_e .

Існує критична ступінь деформації ψ_k , а отже, коефіцієнт витягування K_{ek} , при якому напруження в небезпечному перерізі деталі близькі до руйнуючих.

Визначення граничного коефіцієнта витягування теоретичним шляхом достатньо складно. На практиці граничні коефіцієнти витягування визначаються з експериментальних даних. У довідковій літературі (наприклад, у довіднику В. П. Романовського) є дані про коефіцієнт витягування m_e , який із коефіцієнтом K_e пов'язаний співвідношенням



$$m_e = \frac{1}{K_e}, \quad \text{тобто (рис. 3.43)} \quad m_e = \frac{d}{D_0}. \quad (3.14)$$

Рис. 3.43. До визначення коефіцієнта витягування за В. П. Романовським: 1 – вихідна заготовка; 2 – витягнутий ковпачок

Якщо багато перехідне витягування ведеться без міжопераційних відпалів, то при збільшенні номеру переходу N значення K_e зменшується внаслідок підвищення зміцнення матеріалу заготовки. Різниця в значенні K_e суттєва лише на першому та другому переходах витягування ($K_1 > K_2$). При виконання подальших переходів значення K_e змінюється не суттєво. Можна вважати, що $K_2 \approx K_3 \approx \dots \approx K_N = const$. Указане явище пояснюється тим, що з підвищенням ступені деформації інтенсивність зміцнення металу поступово затухає.

Визначення числа операцій (переходів) та розмірів напівфабрикатів при витяганні циліндричних деталей. Якщо відомі критичні коефіцієнти витягування для першої та подальших операцій, діаметри напівфабрикатів за переходами витягування легко визначаються за залежностями (рис. 3.45):

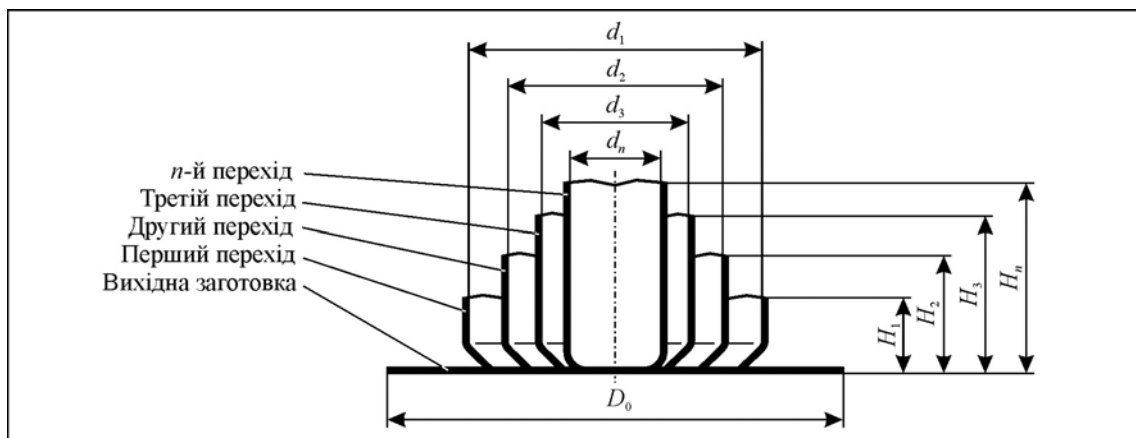


Рис. 3.44. До визначення числа переходів (операцій) витягування

$$d_1 = \frac{D_0}{K_1}; \quad d_2 = \frac{d_1}{K_2}; \quad d_3 = \frac{d_2}{K_3} = \frac{D_0}{K_1 K_2 K_3}. \quad (3.15)$$

Ураховуючи, що при витягуванні без між операційних відпалів $K_2 \approx K_3 \approx \dots \approx K'$,

$$d_2 = \frac{D_0}{K_1 K'}; \quad d_3 = \frac{D_0}{K_1 (K')^2}; \quad d_N = \frac{D_0}{K_1 (K')^{N-1}}, \quad (3.16)$$

де N – число операцій (переходів) витягування.

Більш точно K' визначають як середнє значення коефіцієнтів:

$$K' = \frac{K_2 + K_3 + \dots + K_N}{N-1}.$$

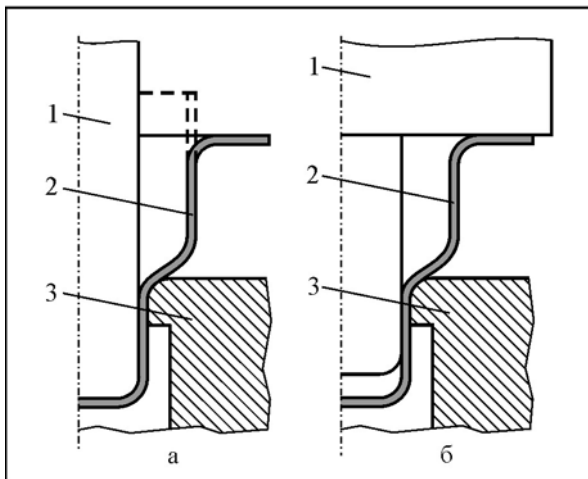
Для визначення N можна логарифмувати рівняння (3.16):

$$N = 1 + \frac{\lg d_N - \lg \left(\frac{D_0}{K_1} \right)}{\lg \left(\frac{1}{K'} \right)}. \quad (3.17)$$

Радіус округлення матриці приймають 6...10 товщин.

Витягування осесиметричних (не циліндричних) деталей. Витягуванням можна отримувати осесиметричні деталі, що відрізняються за своєю формою від циліндричних деталей, а саме – широким фланцем, ступінчасті, конічні, із криволінійною твірною (зокрема, сферичні) тощо.

Умови формозміни їх менш сприятливі, порівняно із циліндричними деталями без фланця. Для штампування даних деталей використовуються певні прийоми, що дозволяють отримувати їх без руйнування.



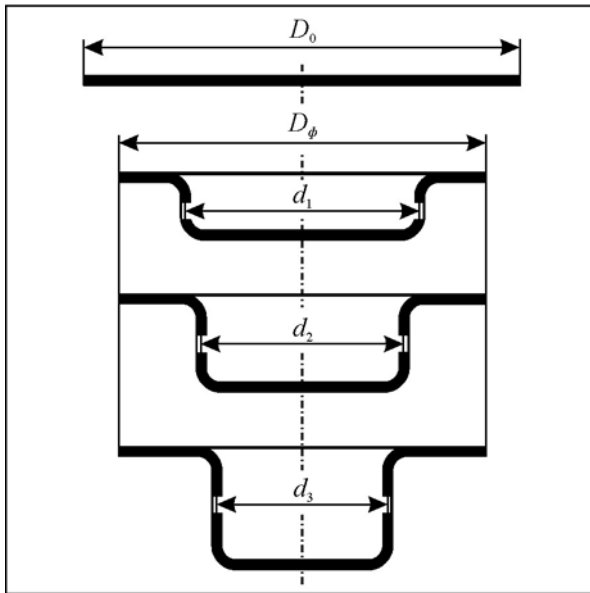
Багатоперехідне витягування деталі із широким фланцем можна здійснювати без притиску заготовки двома способами:

- витягуванням заготовки в матрицю пуансоном, що передає тиск донній ділянці з подальшим правленням фланця в окремому штампі (рис. 3.46, а);

Рис. 3.45. Схеми багатоперехідного витягування деталі із широким фланцем без притиску заготовки: а – без прошивання заготовки; б – з прошиванням заготовки; 1 – пуансон; 2 – деталь, що витягується; 3 – матриця

- витягуванням з одночасним прошиванням заготовки в матрицю силою, яка прикладена до торцевої ділянці заготовки, та правленням фланця в кінцевий момент витягування (рис. 3.46, б).

Другий спосіб більш переважний, так як при прошиванні створюються осьові напруження, що стискають, які розвантажують небезпечний переріз деталі, а це дозволяє вести багатоперехідний процес без міжопераційних відпалів із високим ступенем деформації на багатопозиційних листоштампувальних автоматах.



Особливість технології витягування деталей із широким фланцем є в тому, що після першої операції отримують діаметр фланця таким, як передбачено кресленням деталі (із припуском на обрізування). На всіх подальших операціях цей діаметр залишається незмінним: формозміна відбувається внаслідок зменшення діаметра циліндричної частини напівфабрикату, збільшення ширини фланця та висоти деталі (рис. 3.46).

Рис. 3.46. Переходи витягування деталі з широким фланцем

Висоту напівфабрикату після першої операції витягування визначають за формулою:

$$h_1 = \frac{D_0^2 - d_\phi^2}{4d_1} + 0,86r_n, \quad (3.18)$$

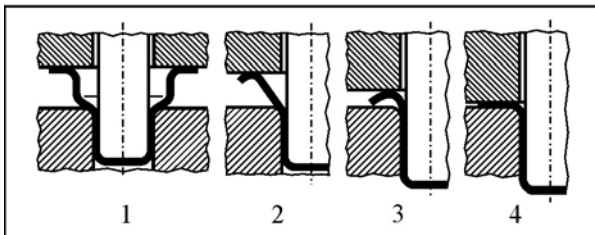
де d_1 - діаметр напівфабрикату після першого витягування;
 d_ϕ - діаметр фланця.

Висоту напівфабрикату на подальших операціях витягування визначають за формулою:

$$h_N = (h_{N-1} - 0,86r_{N-1})K_e + 0,86r_N, \quad (3.19)$$

де r_{N-1} та r_N - радіуси напівфабрикатів за переходами витягування;
 $K_e = d_{N-1} / d_N$ - коефіцієнт витягування.

При витягуванні деталей із широким фланцем прошовхування заготовки здійснюється спеціально передбаченим у штампі штовхачем, що спирається на буферний пристрій, або пуансоном із буртом, який не тільки прошовхує заготовку в матрицю, але й на заключній стадії



процесу розгинає та править фланець. Стадії формоутворення деталі при витягуванні деталі із широким фланцем показано на рис. 3.47.

Рис. 3.47. Стадії формоутворення деталі із широким фланцем при витягуванні з прошовхуванням заготовки

Надмірно велике зусилля прошовхування приведе до втрати усталеності напівфабрикату, внаслідок чого з'являються кільцеві випуклості в місці спряження ділянки вільного вигину та циліндричної частини напівфабрикату, що деформується. Цей процес має періодичний характер, що приведе до утворення кільцевих смуг на циліндричній частині напівфабрикату. Для усунення цього явища необхідно зменшити зусилля прошовхування за рахунок зменшення контактних сил тертя або збільшення радіусу округлення робочої кромки матриці.

Великий вклад у дослідження витягування деталей із широким фланцем зробив І. А. Норіцин.

Ступінчасті осесиметричні деталі отримують, як правило, багатоопераційним витягуванням (рис. 3.48). Перший ступінь діаметром d_1 витягують із плоскої заготовки за одну або декілька операцій, після чого діаметри d_1 та D_ϕ залишаються незмінними, а подальші ступені діаметрами d_2, d_3 отримують внаслідок перерозподілу металу за аналогією з технологією

штампування деталей з широким фланцем. Надлишок (3...5 %) поверхні напівфабрикатів, що витягується в матрицю, виключає можливість відривання дна.

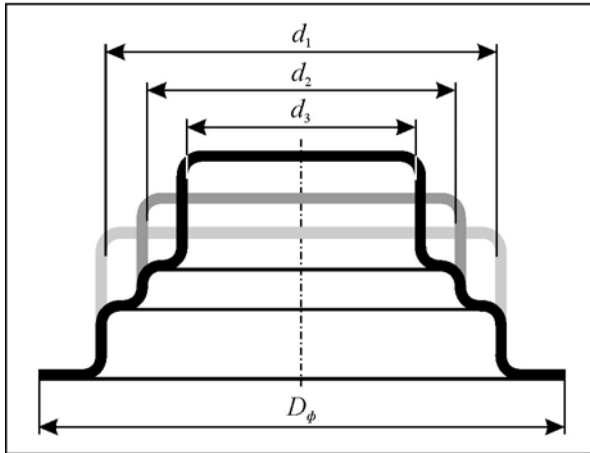


Рис. 3.48. Переходи (операції) витягування ступінчастих деталей

Витягуванням можна отримувати деталі конічної форми: низькі – у вигляді зрізаного конуса (рис. 3.49, а) та високі, гострокінцеві – з малим та великим кутами конуса (рис. 3.49, б).

При витягуванні *низьких деталей конічної форми* ($H \leq 0,3d$) застосовують матриці з перетяжними порогами (рис. 3.49, в).

Високі конічні деталі з великим кутом нахилу твірної ($30\dots60^\circ$), у яких $H > 0,7d$, витягують за декілька операцій

одним із двох способів:

- перший спосіб базується на багатоопераційному витягуванні ступінчастого напівфабрикату з подальшим розтяганням та правленням у спеціальному штампі (рис. 3.49, г). Він не забезпечує отримання гладкої поверхні. Тому необхідно проводити обробку (вирівнювання) деталі на ротаційному верстаті;

- за другим способом на першій операції витягується циліндричний напівфабрикат, діаметр якого дорівнює діаметру основи конуса, після чого за кожен подальшу операцію витягування утворюється конічна поверхня, що збільшується (рис. 3.49, д). Якість поверхні при витягуванні другим способом вище.

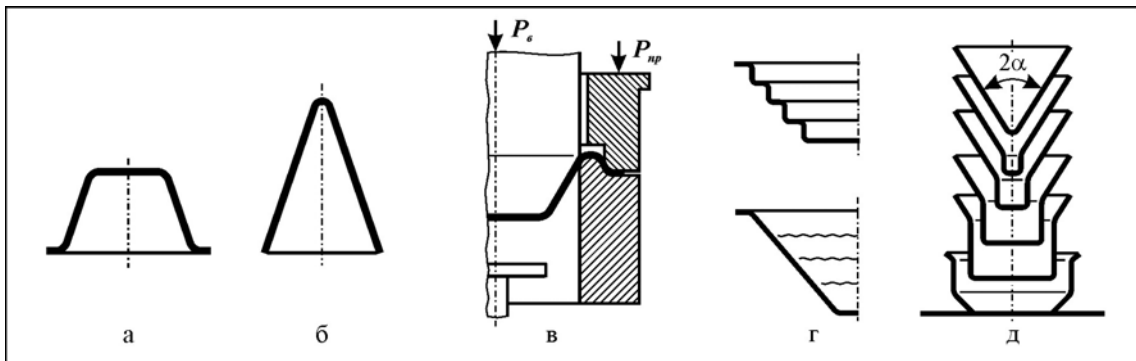


Рис. 3.49. Витягування конічних деталей: а – низька конічна деталь (у вигляді обрізаного конуса); б – висока конічна деталь (гострокінцева, з малим кутом конуса α); в – схема штампа з перетяжним порогом для витягування низької конічної деталі; г – перший спосіб витягування високої конічної деталі; д – другий спосіб витягування високої конічної деталі

Багатоперехідне витягування деталей у стрічці. Напівфабрикати втримуються в стрічці спеціально передбаченими перемичками – містками. На останньому переході відбувається вирубання за контуром, внаслідок чого деталь відокремлюється від стрічки (рис. 3.53).

Переваги штампування:

- висока продуктивність процесу;
- безпечність у роботі;
- можливість автоматизації процесу подачі стрічки в штамп та об'єднання великої кількості переходів в одному штампі послідовної дії (до десяти), у той же час у штампах суміщеної дії можна об'єднати лише два-три переходи.

Недоліки штампування:

- деяке обмеження розмірів деталей, що штампуються;
- підвищена витрата металу внаслідок збільшення перемичок;

- складність та висока вартість штампового оснащення.

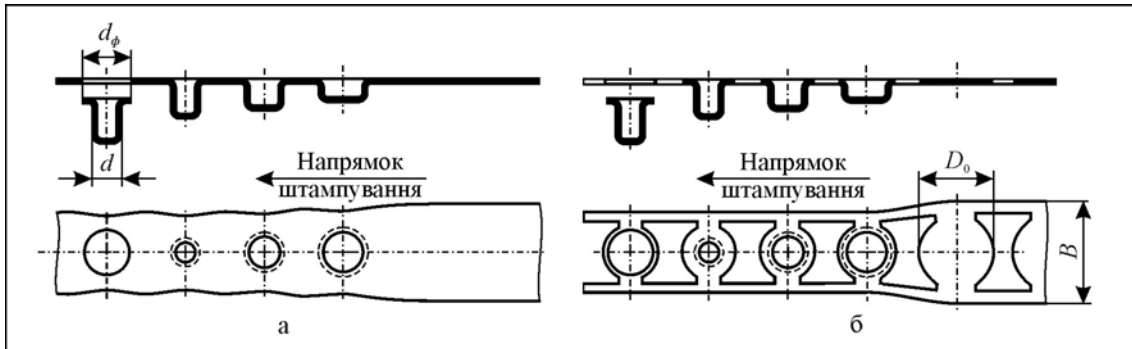
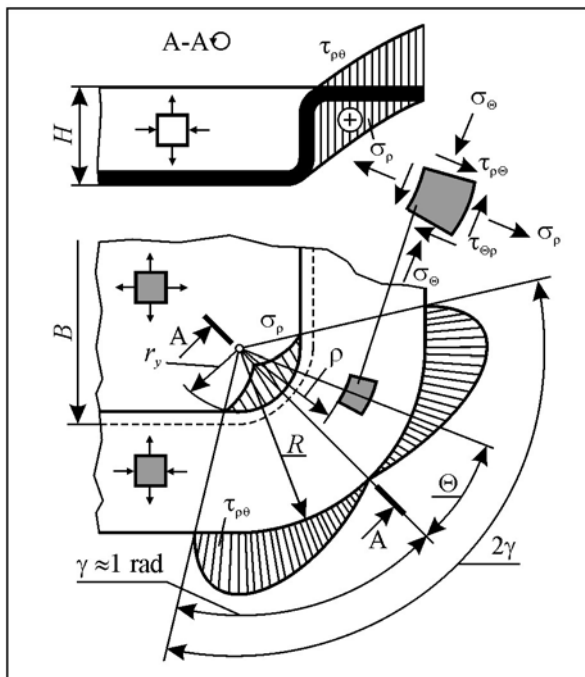


Рис. 3.50. Багато перехідне витягування деталей у стрічці: а – без вирубання вікон; б – з вирубанням вікон

Зусилля штампування при витягуванні в стрічці визначають як суму зусиль за переходами штампування, включаючи допоміжні операції.

Область використання: штампування невеликих деталей в умовах масового та великосерійного виробництва.

Витягування деталей коробчастої форми. Низькі коробчасті деталі [$H/B \leq (0,6...0,8)$] витягують в одну операцію, а високі [$H/B > (0,6...0,8)$] – за дві й більше операцій.



При витягуванні:

- вогнище пластичної деформації знаходиться в кутових ділянках фланця, воно також охоплює зону спряження фланця та бічних стінок;
- стінки деталі випробують складний та нерівномірний напружено-деформаційний стан: стиснення вздовж контуру та розтягання за висотою (рис. 3.51).

Рис. 3.51. Епюри напружень у фланці низької коробчастої деталі при витягуванні

Визначення форми та розмірів заготовки. Розміри заготовок для деталей коробчастої форми визначають з умови рівності площі поверхні заготовки та деталі, що витягується. Форма заготовок для коробчастих деталей залежить від співвідношення розмірів деталі (рис. 3.55):

- відносної висоти H/B ;
- відносної ширини B/A ;
- відносного радіуса округлення ку-

тових ділянок коробки r_y/B .

Методика побудови контуру заготовки для низьких коробчастих деталей ($H/r_y < 5$), що запропонована В. П. Звороно, має наступну послідовність (див. рис. 3.55):

- контур деталі в плані викреслюють у масштабі, після чого виконують розгортку прямолінійних ділянок контуру деталі на площину: довжину розгортки l визначають як при звичайному гнуттю;

- за формулою, що отримана з умови рівності поверхні заготовки та деталі, визначають радіус заготовки (розгортки) R_0 , необхідний для отримання циліндра, уписаного в кутову ділянку коробки;
- радіусом R_0 з центра O проводять дугу $a-b$ до перетинання з прямими Oc та Od , що обмежують прямолінійні ділянки контуру заготовки;
- відрізки ad та bc поділяють пополам (точки m та n) та через ці точки проводять дотичні до дуги ab ;
- дотичні та прямолінійні ділянки контуру заготовки спрягають дугами радіусом R_0 .

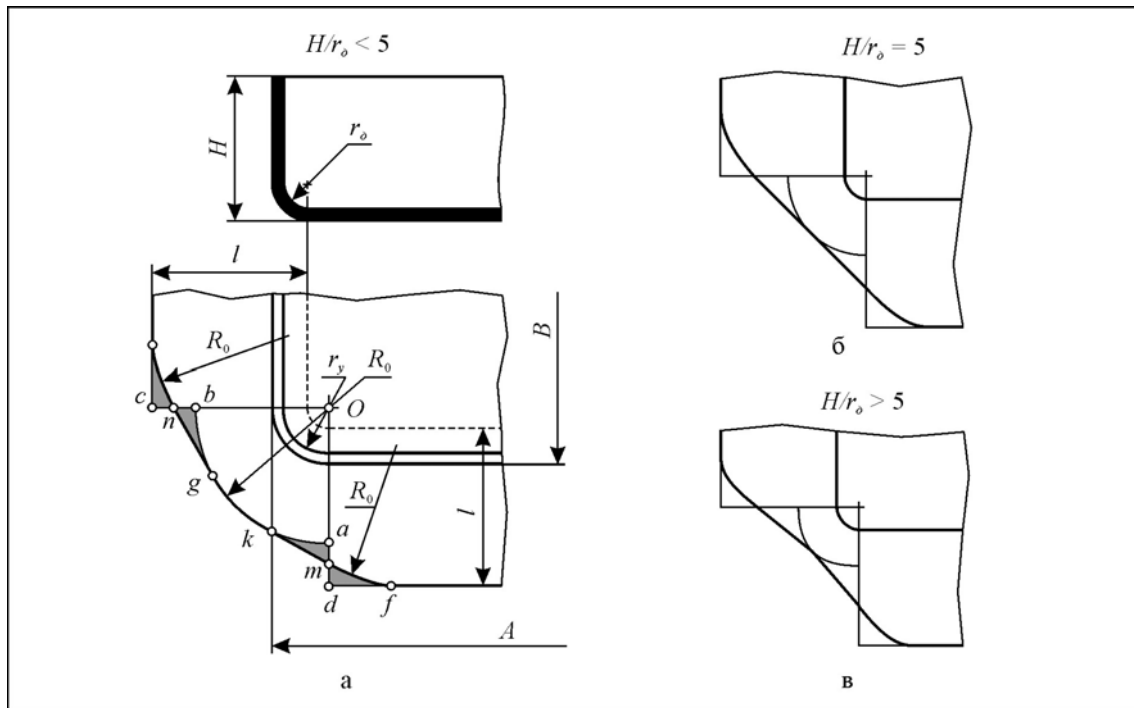


Рис. 3.52. Схеми побудови кутових ділянок заготовки для витягування низьких коробчастих деталей: а – для $H/r_o < 5$; б – для $H/r_o = 5$; в – для $H/r_o > 5$

Експериментально встановлено, що для виготовлення високих квадратних деталей можна використати заготовки у вигляді кола, діаметр якого визначають з умови рівності площі поверхонь заготовки та деталі.

Заготовки для прямокутних високих деталей мають форму еліптичного овалу.

Після витягування високих коробчастих виробів передбачається операція обрізування.

Силкові умови витягування. Зусилля витягування деталей коробчастої форми можна визначити за формулою, що запропонував В. П. Романовський:

$$P_e = Ls\sigma_e\alpha, \quad (3.20)$$

де $\alpha = 0,3 \dots 1,1$ - коефіцієнт, що залежить від форми та розмірів деталі, відносної товщини та матеріалу заготовки, ступеню деформації.

Зусилля притиску визначають за формулою:

$$Q = F_k q_k + F_{np} q_{np}, \quad (3.21)$$

де F_k та F_{np} - площі кутових та прямолінійних ділянок фланця відповідно в початковий момент витягування;

q_k та q_{np} - питомі тиски притиску на кутових та прямолінійних ділянках фланця відповідно.

$q_k = 0,24 \dots 2,32$. $q_{np} = 0,24 \dots 3,45$.

Коефіцієнт витягування, форма та розміри напівфабрикатів. Відношення радіуса округлення кутової ділянки контуру напівфабрикату, що отриманий на попередній операції $r_{k(N-1)}$ до радіуса округлення кутової ділянки напівфабрикату, що отриманий після попередньої операції $r_{k(N)}$, або в окремому випадку, радіуса заготовки R_0 до радіусу напівфабрикату після першої операції $r_{k(1)}$ називають коефіцієнтом витягування деталей коробчастої форми:

$$K_g = \frac{r_{k(N-1)}}{r_{k(N)}} = \frac{R_0}{r_{k(1)}}. \quad (3.22)$$

Для алюмінієвих сплавів межеве значення $K_{gm} = 3,44...2,56$, для сталі 10 $K_{gm} = 3,57...2,08$. Значення K_g завжди повинно бути менше значенню K_{gm} .

При витягуванні високих деталей коробчастої форми сумарний коефіцієнт витягування можна розглядати як відношення довжини контуру заготовки L_0 до довжини розгортки контуру деталі L :

$$K_g = \frac{L_0}{L}, \quad (3.23)$$

або як корінь квадратний із відношення площі заготовки F_0 до площі дна деталі коробчастої форми F_{dn} :

$$K_g = \sqrt{\frac{F_0}{F_{dn}}}, \quad (3.24)$$

ця залежність запропонована Боксом та Шредером.

Заготовка для прямокутної високої коробчастої деталі має форму овалу. Тому й усі напівфабрикати (переходи) мають форму овалів (рис. 3.53, а).

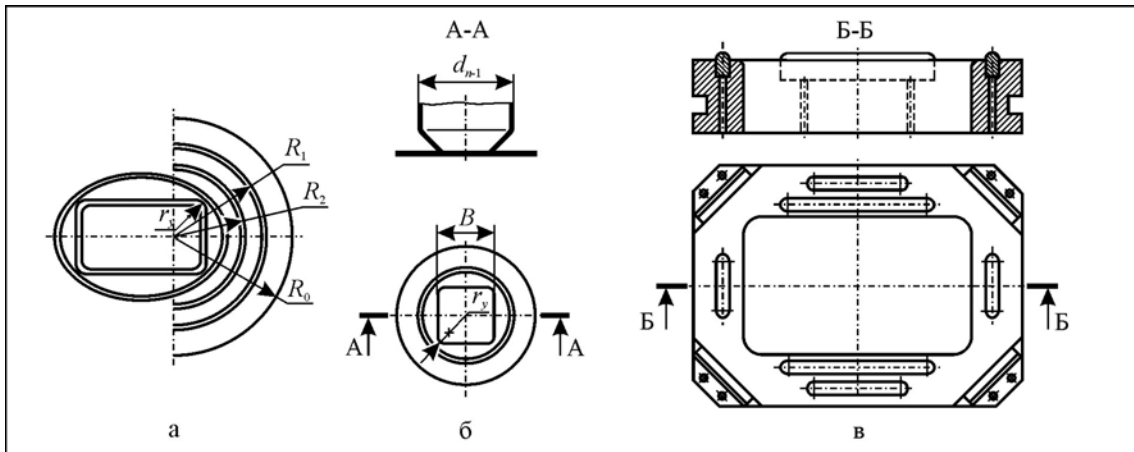


Рис. 3.53. Переходи витягування високих коробчастих прямокутних (а) та квадратних (б) деталей. Конструктивне виконання матиці з перетяжними ребрами (в)

Високі квадратні коробчасті деталі витягують із круглої заготовки. Тому й усі напівфабрикати повинні мати форму циліндрів, розміри яких визначаються так же як і при витягуванні циліндричних деталей. Напівфабрикат на передостанньому переході має форму циліндру, що спряжений з уписаним квадратним дном (рис. 3.53, б). На останньому переході із циліндричного напівфабрикату із квадратним дном отримують коробчасту деталь. При цьому коефіцієнт витягування можна розглядати як відношення периметрів поперечних перерізів передостаннього (циліндричного) напівфабрикату до останнього (коробчастого):

$$K_e = \frac{\pi d_{N-1}}{4B}. \quad (3.25)$$

Перетяжні ребра та зазори. У процесі витягування деталей коробчастої форми опір витягування заготовки в матрицю на різних ділянках її контуру не однаковий: на прямолінійних ділянках він менше ніж на криволінійних, де опір зростає зі зменшенням кутового радіуса кривизни матриці. Внаслідок цього деталі мають нерівномірну висоту: на кутових ділянках вона більша, а на прямолінійних – менша. Крім того, виникають нерівномірні напруження в деталі за контуром матриці, що може привести до руйнування деталі.

Для створення приблизно однакових умов витягування заготовки в матрицю на прямолінійних ділянках штучно збільшують опір витягуванню заготовки шляхом використання спеціальних *перетяжних ребер* (рис. 3.53, в), які виконують функцію своєрідного гальма при переміщенні заготовки відносно матриці.

Так як при витягуванні в кутових ділянках контуру деталі відбувається природне потовщення фланця, це явище враховується при визначенні зазору між пуансоном та матрицею штампа для витягування: на прямолінійних ділянках контуру зазор між пуансоном та матрицею $z = 1,2s$, а на криволінійних - $z = (1,3 \dots 1,4)s$. Напрямок зазору не має значення на всіх операціях, крім останньої, де він визначається кресленням деталі.

Особливості витягування автокузовних облицювальних деталей. До облицювальних деталей кузова автомобілю відносяться: панель капоту, панель переднього скла, панелі дверей, дах та інші подібні деталі. Своєрідність форми цих деталей припускає спільність побудови їхніх технологічних процесів штампування. При цьому використовують операції відрізування, вирубання, пробивання, гнуття, формовку та інші. Однак головною операцією, що визначає можливість їхнього виготовлення, є витягування. Основний критерій оцінки технологічної складності – відносна глибина порожнини, що витягується. Особливість витягування: одна операція, що забезпечує якість поверхні, бо при багатоопераційному витягуванні на поверхні виробу з'являються сліди проміжних операцій.

Витягування облицювальних панелей, як правило, здійснюють на пресі подвійної дії, що дозволяє:

- забезпечити достатньо велику силу притиску заготовки;
- застосовувати штампи з матрицею, що закріплюється на нижній плиті, і тим самим полегшує встановлення заготовки в штамп;
- регулювати силу притиску на окремих ділянках фланця деталі.

Для зменшення припусків при виготовленні неглибоких порожнистих деталей застосовують штампування розтягом з обтягуванням [15]. При цьому формоутворення відбувається як в наслідок витягування заготовки в матрицю, так і внаслідок пластичного двоосного розтягу при обтягуванні її за пуансоном (рис. 3.54, а).

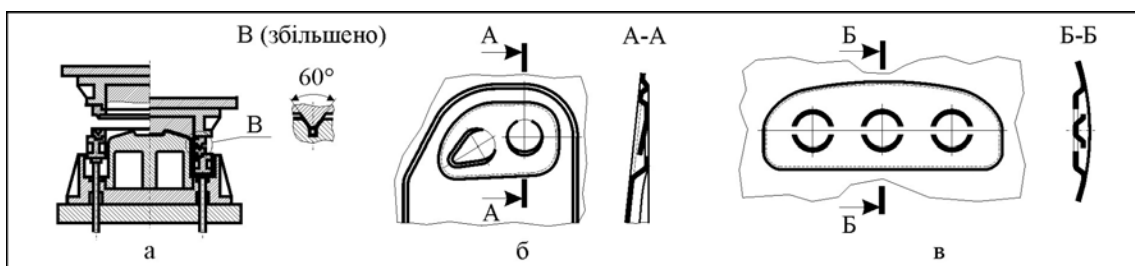


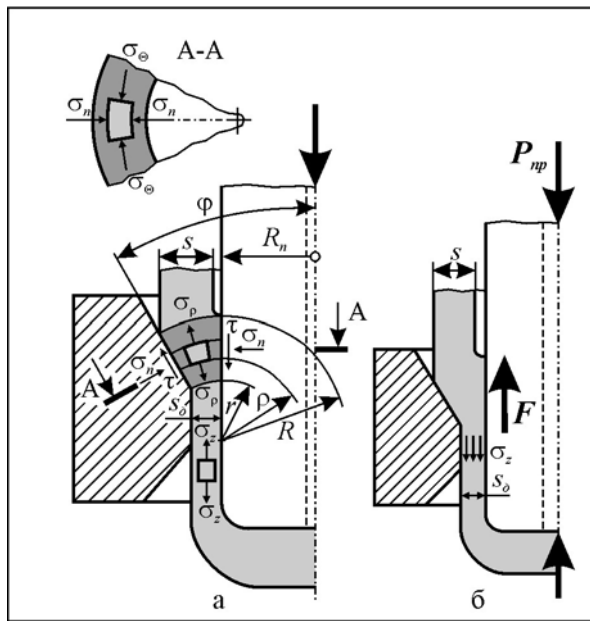
Рис. 3.54. Штамп для штампування розтягом з обтягуванням (а) та розташування технологічних вікон на деталі (б, в)

При проектуванні штампів для витягування місце розташування та число перетяжних ребер визначають орієнтовно та остаточно уточнюють у процесі налагодження штампа. Чим ширше технологічний припуск на обрізування, тим менше складкоутворення при витягуванні, але при цьому витрата матеріалу збільшується. Для створення умов, при яких частина металу із дна перетягується в стінки, на дні передбачають технологічні вікна поблизу найбільш напружених ділянок деталі (рис. 3.54, б, в). Надрізування вікон виконують за незамкнутим контуром.

Витягування циліндричних деталей із потоншенням стінки. Витягування з потоншенням стінки застосовують для отримання порожнистих деталей або напівфабрикатів, у яких товщина дна більше товщини стінки. Процес здійснюється протяганням заготовки у вигляді ковпачка через матрицю, при цьому зазор z між пуансоном та матрицею повинен бути менше товщини стінки заготовки

$$z = \frac{D_m - D_n}{2} < s. \quad (3.26)$$

В процесі витягування з потоншенням відбувається зменшення товщини стінки заготовки при відносно невеликому зменшенні її діаметра. За одну операцію можна отримати напівфабрикат значно більшої висоти, ніж при витягуванні без потоншення.



При витягуванні з потоншенням вогнище пластичної деформації знаходиться в зоні зменшення товщини заготовки. Він малий порівняно з іншими розмірами напівфабрикату та обмежений з обох боків пружно-деформованими ділянками (рис. 3.55, а).

Рис. 3.55. Вогнище пластичної деформації при витягуванні з потоншенням стінки: а – напружений стан; б – схема дії зовнішніх сил

Витягування з потоншенням відбувається в умовах об'ємного деформаційного стану. Однак, якщо врахувати, що відносне зменшення діаметру мале порівняно з деформаціями в осьовому (збільшення довжини) та радіальному (зменшення товщини стінки) напрямках, то без великої похибки можна вважати, що витягування з потоншенням відбувається в

умовах плоского вісесиметричного деформованого стану.

При деформуванні елементарного об'єму, що виділений у вогнищі деформації, виникають (рис. 3.55, а):

- нормальні напруження, що розтягають σ_ρ ;
- нормальні напруження, що стискають σ_n ;
- окружні напруження, що стискають σ_θ ;
- дотичні напруження τ .

Таким чином, реально при витягуванні з потоншенням напружений стан – об'ємний.

При витягуванні заготовка ковзається відносно пуансона вгору. Сили тертя на поверхні контакту заготовки та пуансона розвантажують безпечний переріз, зменшуючи напруження σ_ρ , що розтягають. У той же час сили тертя на поверхні контакту заготовки та матриці сприяють збільшенню напружень σ_ρ , що розтягають. Таким чином, дотичні напруження τ на поверхні контакту заготовки матриці та пуансона спрямовані в різні боки, а напруження σ_n , що стискають, за абсолютним значенням великі порівняно з напруженнями τ , σ_ρ та σ_θ . Розглянута особливість напруженого стану вогнища деформації – основна причина того, що допустима ступінь деформації при витягуванні з потоншенням вище, ніж при витягуванні без потоншення стінки.

Оптимальне значення кута нахилу твірної матриці ϕ_{opt} , при якому значення σ_ρ найменше, визначається формулою:

$$\varphi_{omm} = \frac{\sqrt{2\mu \ln\left(\frac{s}{s_\delta}\right)} \cdot 180^\circ}{\pi}. \quad (3.27)$$

При відношенні $s/s_\delta = 2$ та $\mu = 0,05$ $\varphi_{omm} = 15^\circ$.

Розміри заготовки. При витягуванні з потоншенням товщину заготовки приймають рівній товщині дна напівфабрикату, що витягується ($s = s_{\delta n}$). Діаметр заготовки D_0 визначають із умови рівності об'єму заготовки та деталі з урахуванням об'єму металу на припуск під обрізування. Цю умову можна представити у вигляді

$$0,785sD_0^2 = \xi V_\delta,$$

звідкіля

$$D_0 = 1,13 \sqrt{\frac{\xi V_\delta}{s}}, \quad (3.28)$$

де ξ - коефіцієнт, який урахує об'єм металу, що йде на обрізування нерівного краю напівфабрикату. Звичайно $\xi = 1,08 \dots 1,15$;

V_δ - об'єм деталі.

Деформуюче зусилля. Р. Хіллом, а далі Л. А. Шофманом було показано, що деформуюче зусилля витягування з потоншенням стінки можна розрахувати за формулою:

$$P_e = \frac{4\sigma'_s}{\sqrt{3}} (1 + \mu \operatorname{ctg} \varphi) \frac{(1 + \varphi) \sin \varphi}{1 + 2 \sin \varphi} \pi [s_\delta (2R_n + s_\delta)]. \quad (3.29)$$

Допустимий ступінь деформації ψ визначається за формулою:

$$\psi = (0,85 \dots 0,90) \psi_{кр}, \quad (3.30)$$

де $\psi_{кр}$ - критичний ступінь деформації.

Загальну кількість операцій N , що необхідно для витягування деталі з потоншенням стінки можна визначити за формулою:

$$N = \frac{\ln F_N - \ln F_0}{\ln(1 - \psi_{сер})}, \quad (3.31)$$

де F_0 та F_N - відповідно площі поперечного перерізу заготовки та деталі;

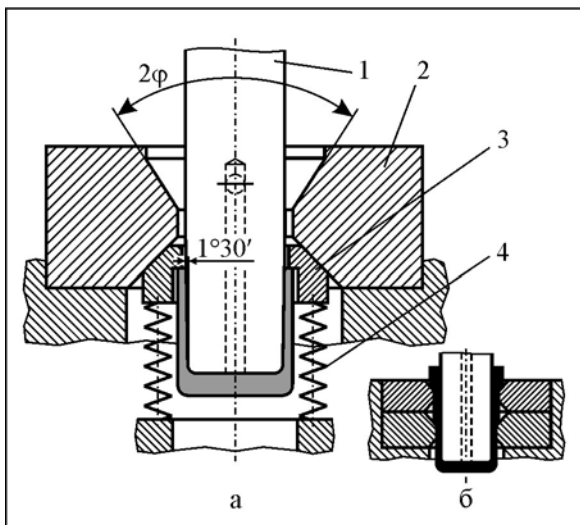
$\psi_{сер} = \psi$ - допустимий ступінь деформації.

Середню висоту напівфабрикату визначають з умови рівності об'єму плоскої заготовки діаметром та відповідного напівфабрикату:

$$h_N = \left[\frac{D_0^2 - d_n^2}{4(d_n - s_N)s_N} + 1 \right] \cdot s, \quad (3.32)$$

де d_n та s_N - відповідно зовнішній діаметр та товщина стінки напівфабрикату.

Конструктивні особливості штампів та інструмента. Схема штампа показана на рис. 3.59. У ньому зазор між пуансоном 1 та матрицею 2 менше товщини стінки заготовки (згортки). Штмп має знімач 3, що складається із трьох частин, який пропускає напівфабрикат у напрямку витягування, та знімає його з пуансона, коли останній піднімається вгору. Для полегшення знімання робочу частину пуансона виконують конічної форми (кут конусності $1 \dots 1,5^\circ$, а поверхню



пуансона полірують та хромують. Для усунення вакууму, у пуансоні передбачають центральний отвір, який з'єднаний з атмосферою. Матеріал пуансона – сталь У10А, твердість $HRC_e = 58...62$. Матриці виготовляють із твердого сплаву ВК20 або сталі У10А з подальшим загартуванням на твердість $HRC_e = 62...64$. Кут ϕ на матриці виконують у межах $8...18^\circ$.

Рис. 3.56. Схема штамп для витягування з потоншенням стінки (а) та пакет матриць (б)

Для підвищення продуктивності праці сполучають два й більше переходів витягування в одному штампі. Для цього в штамп установлюють пакетом декілька

матриць (одна під другою) з діаметрами, що послідовно зменшуються. (рис. 3.59, б).

Витягування деталей в захисній оболонці. Відомо, що якість зовнішньої поверхні заготовки після витягування, яка контактує з матрицею в процесі витягування, визначається, головним чином, якістю поверхні матриці. Саме тому дану поверхню, крім шліфування, полірують до дзеркального стану [7].

Однак в процесі витягування (при змащенні заготовки та інструмента або випадково) в зазор між матрицею та заготовкою можуть попадати дрібні абразивні частки, шматочки задирок тощо, які втискуються з м'яку заготовку, протягуються разом з нею крізь матрицю і, таким чином, наносять подряпини на її полірованій поверхні, утворюючи систему рисок, що переносяться на витягнутий виріб при подальшому витягуванні (рис. 3.57).

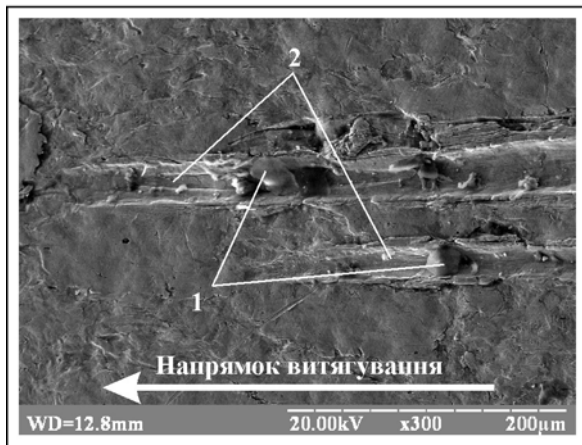


Рис. 3.57. Фрактографія зовнішньої бічної поверхні витягнутого виробу з подряпинами ($\times 300$): 1 – абразивні частки; 2 – подряпини

Це явище є фізичною причиною погіршення якості зовнішньої поверхні виробу після витягування. Слід відмітити, що для певній групі виробів, що отримані способом витягування (наприклад, при витягуванні металевого посуду із нержавіючої полірованої листової сталі), наявність рисок не допускається, так як деталь експлуатується без будь-якого

покриття, а риски знижують нанівець її товарний вигляд. Тому виробник вкладає додаткові кошти на поновлення матриці (наприклад, шляхом хромування з подальшим шліфуванням та поліруванням пошкодженої поверхні матриці), або її заміни, що підвищує собівартість виготовлення виробу.

В роботі [8] запропоновано спосіб витягування деталі у штампі із плоскої заготовки, який відрізняється тим, що заготовку штампують разом (пакетом) з однією або двома фольгованими пластичними прокладками (оболонками) із антифрикційного матеріалу, що виконують роль підшипників ковзання та запобіжників якості поверхні деталі, причому одну із них розташовують між матрицею та заготовкою, а другу – між пуансоном та заготовкою. Це, порівняно з відомим способом дозволяє суттєво підвищити якість поверхонь витягнутої деталі за рахунок усунення можливості утворення подряпин на деталі та зменшити зусилля штампування.

Сутність способу витягування в захисній оболонці. Спосіб, що пропонується, стосується області листового штампування і може бути використаний в машинобудуванні для якісного

витягування деталей у штампі із плоскої заготовки, зокрема для витягування металевого посуду.

Перед витягуванням змащується рідким мастилом та складається пакет (рис. 3.58, а), який включає в себе фольгову пластичну прокладку 1 із антифрикційного матеріалу (наприклад із мідної фольги), заготовку 2 та прокладку 3, яка є однаковою із прокладкою 1. Пакет встановлюється у витяжний штамп (рис. 3.58, б) за упором 4. При цьому верхня рухома частина штампа (зокрема, витяжний пуансон 5 та притискач 6) знаходяться у крайньому верхньому положенні. При ході повзуна пресу вниз спочатку притискач 6 притискує пакет до дзеркала 7 витяжної матриці 8, а далі пуансон 5 здійснює витягування деталі 9. В процесі витягування (рис. 3. 1, в) абразивні частки 10, 11, які випадково потрапили в зазори, відповідно, між матрицею та прокладкою 1 і пуансоном 5 та прокладкою 3, можуть зробити подряпини лише на поверхнях прокладок 1, 3. При цьому усувається можливість утворення подряпин на зовнішній 12 та внутрішній 13 поверхнях деталі 9. Таким чином, прокладки є запобіжниками якості поверхні після витягування. Більш того, суттєво зменшується тертя між поверхнями прокладок та поверхнями інструмента в зонах їх контактування, а, отже зусилля деформування, за рахунок того, що прокладки виконують роль підшипників ковзання або «твердого змащування».

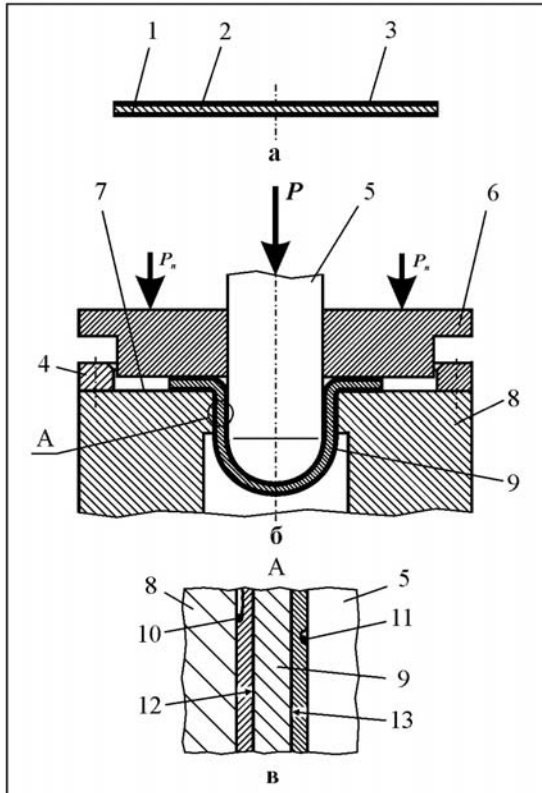


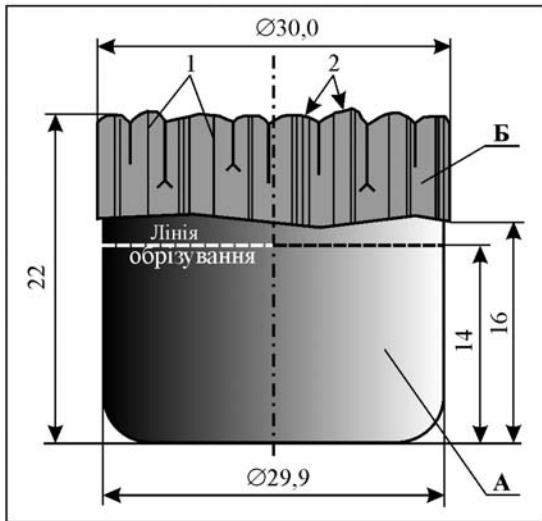
Рис. 3.58. Схема реалізації способу витягування деталі в захисній оболонці: а – складений пакет «прокладка-заготовка-прокладка»; б – технологічна схема формоутворення; в – збільшений вид А

Слід відмітити, що застосування однієї або двох прокладок при штампуванні обумовлено потребою забезпечення якості певної або певних поверхонь деталі.

Використання способу витягування, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє суттєво підвищити якість поверхонь витягнутої деталі за рахунок усунення можливості утворення подряпин.

Результати експериментальних досліджень. Експериментально доказано, що витягування сталевого зразка в мідній оболонці товщиною 0,05 мм забезпечує штампування без утворення подряпин на зразку під оболонкою навіть тоді, коли на оболонці в процесі витягування утворюються невеликі щілини в критичному перетині (на межі між донною та бічною поверхнею). Штучне підвищення тертя між матрицею та оболонкою, за рахунок додавання абразивного дрібнодисперсного порошку в мастило, приводе до зростання зусилля витягування на 13 %, порівняно із зусиллям, що спостерігається за таких ж умов, але з чистим мастилом (з 23,9 кН до 27,2 кН). Воно, в свою чергу, приводе не тільки до відриву дна оболонки, але й до її суттєвого пошкодження (руйнування). Внаслідок цього бічна зовнішня поверхня сталевого зразка лишається незахищеною від подряпин. Саме тому, для гарантованого її захисту при важких, забруднених умовах штампування доцільно підвищувати товщину оболонки від 0,05 до 0,1...0,2 мм. Експериментально перевірена можливість витягування якісних зразків в мідній оболонці із алюмінію – матеріалу, який значно більш чутливий до утворення подряпин: під оболонкою подряпин не виявлено (рис. 3.59).

При поліпшенні умов витягування за рахунок підвищення товщини заготовки оболонки до 0,22 мм та застосування більш міцного матеріалу, зокрема латуні Л63, витягування сталевого зразка відбулося без пошкодження оболонки. Крім того, оболонка легко знялася зі сталевого зразка. Більш того, на бічній поверхні сталевого зразка (під оболонкою) подряпин не виявлено. Доведено, що при витягуванні алюмінієвого зразка в мідній оболонці в сталевій матриці (Fe) спостерігається зменшення зусилля штампування, на 22,4 % порівняно з зусиллям штампування в



тих же умовах алюмінієвого зразка без мідної оболонки (Cu) тому, що пара Fe-Cu працює як класичний підшипник тертя. На підставі проведених досліджень запропоновано ввести у інженерну формулу для розрахунку зусилля витягування коефіцієнт k_m , що урахує вплив тертя.

Рис. 3.59. Схема алюмінієвого зразка після витягування в мідній оболонці (оболонка знята): А – поверхня без подряпин, де була оболонка; Б – поверхня з подряпинами, де було оболонки; 1 – подряпини; 2 – фестони

На рис. 3.60 наведено приклади витягування циліндричних деталей в захисній латунній оболонці.



Рис. 3.60. Приклади витягування циліндричних сталевих деталей в захисній латунній оболонці: а – деталь зі знятою оболонкою; б – оболонка деталі «а»; в, г – деталі в оболонках; 1 – поверхня без подряпин; 2 – поверхня з подряпинами

Витягування деталей із не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорованої заготовки). Сучасні способи витягування порожнистих деталей з притиском плоскої заготовки дозволяють знизити граничний коефіцієнт витягування m_z до 0,5...0,6. Однак, при спробі реалізації процесу при менших значеннях коефіцієнта витягування спостерігається відрив дна, який обумовлений перевищенням напружень розтягання в критичному перерізі заготовки (між донною та бічною поверхнями) межі міцності заготовки σ_v . Дані напруження можна значно зменшити за рахунок заміни заготовки із суцільного матеріалу на заготовку із не суцільного матеріалу, зокрема на металеву сітку або перфоровану заготовку. Це дозволяє суттєво зменшити граничний коефіцієнт витягування та підвищити глибину штампування.

Технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні, в якій використовується не суцільна заготовка, зокрема плоска, сітчаста, з квадратним вічком, показана на рис. 3.61.

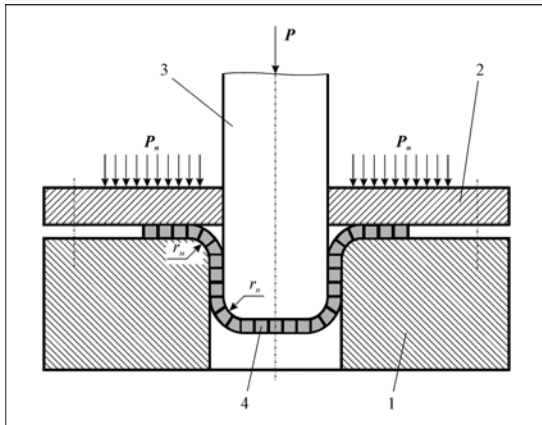
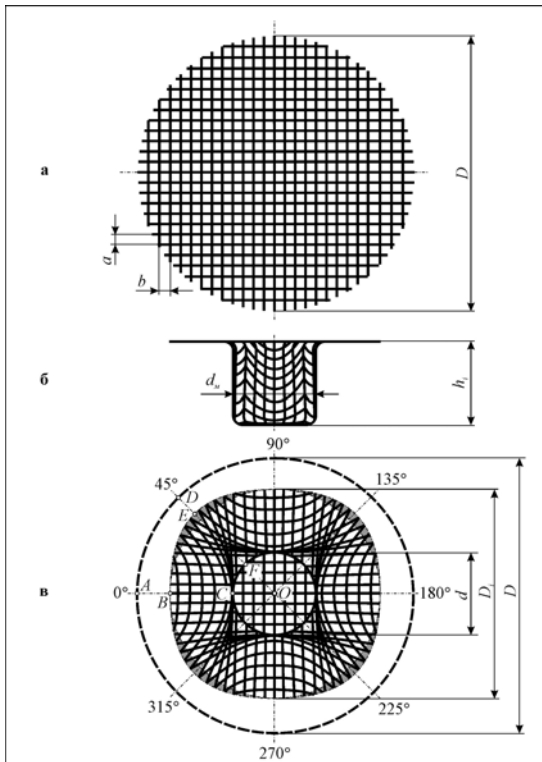


Рис. 3.61. Технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки: 1 – матриця; 2 – притискач; 3 – пуансон; 4 – виріб

Плоску сітчасту заготовку кладуть на витяжну матрицю 1 з радіусом округлення кромки r_m , накривають притискачем 2 та притискають до матриці 1 з постійним зусиллям P_{np} . Далі у притискач вставляють пуансон 3 з радіусом округлення кромки r_n , навантажують його зусиллям P та здійснюють витягування виробу 4.

Плоска сітчаста заготовка (рис. 3.62, а) в процесі витягування деформується (рис. 3.62, б, в).

Рис. 3.62. Моделювання картини викривлення вічок сітки при витягуванні: а – вихідна заготовка; б, в – заготовка в процесі витягування



Виникають напруження розтягу σ_r у радіальному та стиснення σ_θ у тангенціальному напрямках, що безпосередньо зв'язані з опором деформації металу. Оскільки у фланці не суцільної заготовки при куті 0° до вічка сітки (радіальний напрямок $A-B-C$) напруження розтягу σ_r збігається за напрямком з віссю дроту сітки, дріт натягається, але не викривляється. В цей же час напруження стиснення σ_θ – невеликі, порівняно з напруженнями, що виникають у фланці при витягуванні суцільної заготовки, так як вони викликані бічною деформацією «порожнього» вічка сітки. Аналогічна картина спостерігається у фланці при кутах 90° , 180° та 270° .

Інша картина спостерігається у фланці сітчастої заготовки при куті 45° до вічка сітки (радіальний напрямок $D-E-F$). Оскільки напруження розтягу σ_r не збігається за напрямком з

віссю дроту, дріт викривляється та викликає суттєве деформування вічку сітки в напрямку від квадрату до подовженого в радіальному напрямку ромбу. При цьому напруження стиснення σ_θ – теж невеликі, порівняно з напруженнями, що виникають у фланці при витягуванні суцільної заготовки, так як вони теж викликані бічною деформацією «порожнього» вічка сітки. Вони навіть

менші напружень стиснення σ_{\ominus} , що виникають при кутах 0° , 90° , 180° та 270° . Аналогічна картина спостерігається у фланці при кутах 135° , 225° та 315° .

Таким чином, в процесі витягування у фланці сітчастої заготовки спостерігаються наступні зміни розмірів у світлі елементарного вічка ($a \times b$):

- при кутах 0° , 90° , 180° , 270° : $a_1 < a$; $b_1 \approx b$;
- при кутах 45° , 135° , 225° , 315° : $a_2 \ll a$; $b_2 \gg b$.

Такі зміни впливають на відхилення від кола зовнішнього периметру заготовки з утворенням чотирьох зон «надлишкового» матеріалу (на рис. 3.62 зони виділено сірим кольором), що потребує застосування операції обрізування. Слід припустити, що при збільшенні діаметра вихідної заготовки та підвищенні висоти витягнутого ковпачка, зони «надлишкового» матеріалу будуть зростати, і тоді виникає питання про оптимальну форму вихідної сітчастої заготовки. Особливий практичний інтерес має процес витягування круглого ковпачка із квадратної заготовки.

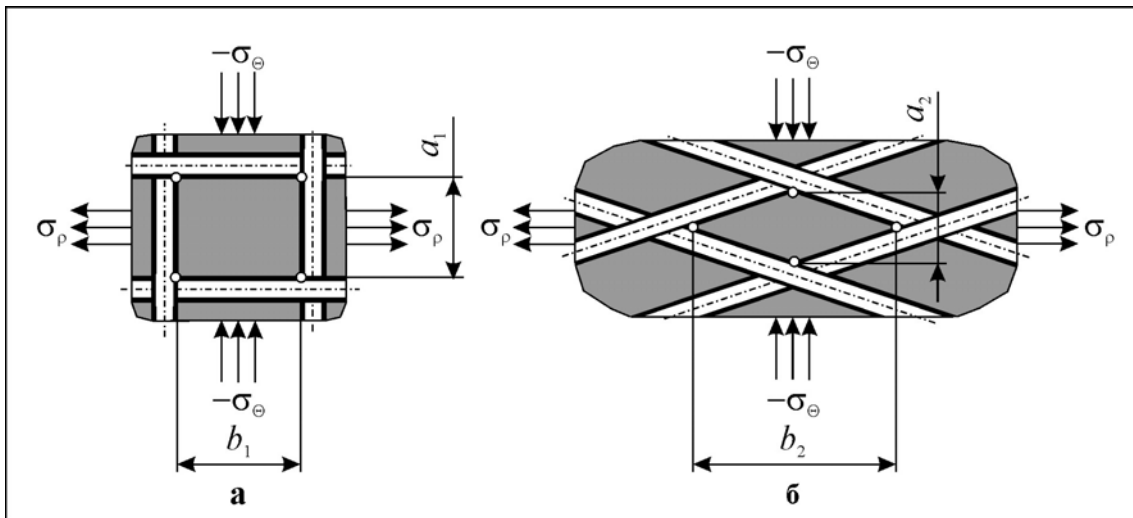


Рис. 3.63. Схема напружень розтягу σ_p у радіальному та стиснення σ_{\ominus} у тангенціальному напрямках, що виникають в елементарному вічку фланця сітчастої заготовки в процесі витягування при кутах 0° (а) та 45° (б) (див. рис. 3.62)

Наведена технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланцю із плоскої сітчастої заготовки суттєво зменшує зусилля штампування, що створює передумови для зменшення граничного коефіцієнту витягування і підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

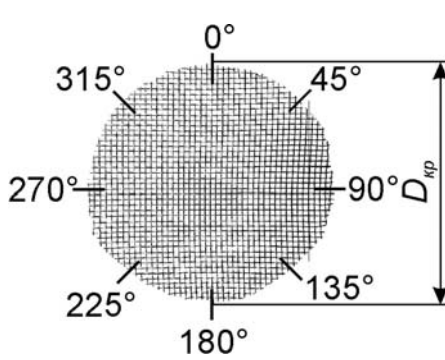
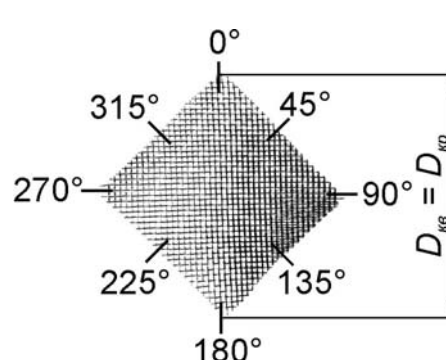
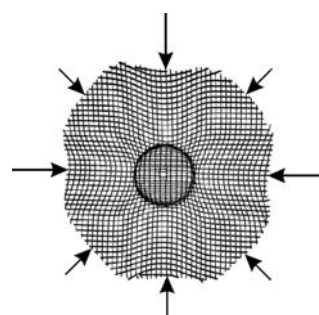
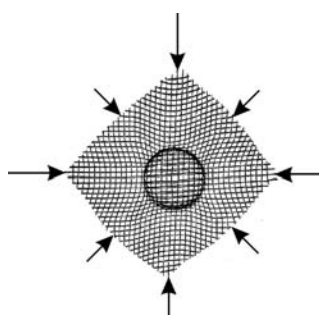
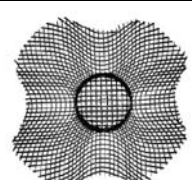
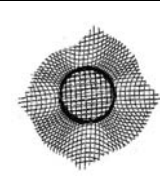
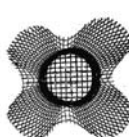
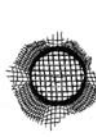


Морфологія зміни форми фланця в процесі витягування ковпачка із круглої та квадратної сітчастої заготовки. Для порівнювального аналізу зміни форми фланця в процесі витягування ковпачка середнім діаметром 29 мм виготовили дві заготовки із сітки. Перша заготовка була кругла та мала діаметр 90 мм, а друга була квадратна з довжиною діагоналі теж 90 мм. Таким чином, квадратна заготовка вписувалася в круг 90 мм. Крім того, дотримувалася додаткова умова: сторони квадратної заготовки паралельні діагоналям вічка сітки, тобто квадратна заготовка була повернута відносно квадратного вічка сітки на кут, що дорівнює 45° .

Витягування здійснювали на експериментальному штампі (див. рис. 3.61) послідовно з кроком зміни висоти ковпачка h 10 мм. Після кожного витягування заготовку виймали зі штампа, клали на білий папір та фотографували фланець.

Як бачимо (табл. 3.1), в процесі витягування циліндричного ковпачка із круглої заготовки (фрагмент 1.1) спостерігається інтенсивне симетричне осьове втягування у матрицю сітки у напрямках, що співпадають з напрямками дротів в сітці (кути 0° , 90° , 180° , 270°). В той же час у напрямках, що відповідають кутам 45° , 135° , 225° , 315° , сітка одночасно втягується в матрицю та деформується (коже вічко сітки в напрямку втягування в матрицю подовжується). Тому інтенсивність втягування периферії заготовки в матрицю зменшується (фрагменти 1.2 – 1.4). В наслідок даного явища круглий початковий контур вихідної заготовки поступово викривляється і на фланці утворюється «залишок» (фрагмент 1.5), який не використовується і підлягає обрізуванню.

Таблиця 3.1

Морфологія зміни форми фланця в процесі витягування ковпачків із круглої та квадратної сітчастих вихідних заготовок

Висота ковпачка h , мм	Фото форми фланцю	
	Кругла заготовка	Квадратна заготовка
0 (вихідна заготовка)	1.1 	2.1 
10	1.2 	2.2 
20	1.3 	2.3 
30	1.4 	2.4 
40	1.5 	2.5 

В процесі витягування циліндричного ковпачка із квадратної заготовки (фрагмент 2.1) також спостерігається інтенсивне симетричне осьове втягування у матрицю сітки у напрямках, що співпадають з напрямками дротів в сітці (кути 0° , 90° , 180° , 270°). В той же час у напрямках, що відповідають кутам 45° , 135° , 225° , 315° , сітка також одночасно втягується в матрицю та деформується (кожне вічко сітки в напрямку втягування в матрицю подовжується). Тому

інтенсивність витягування периферії заготовки в матрицю зменшується (фрагменти 2.2 – 2.4). В наслідок даного явища квадратний початковий контур вихідної заготовки поступово перетворюється у круглий, а «залишок» на фланці практично не утворюється (фрагмент 2.5).

Таким чином, витягування із квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє суттєво зменшити собівартість штампування деталей за рахунок зменшення площі вихідної заготовки.

Визначення граничного коефіцієнта витягування для круглої та квадратної сітчастої заготовки. З метою подальшого порівнювального аналізу, експериментально-аналітичне визначення граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків середнім діаметром 29 мм здійснювали для наступних вихідних заготовок:

- кругла заготовка із листової сталі 08, товщиною 1 мм;
 - кругла заготовка із металевої сітки, товщиною 1 мм;
 - квадратна заготовка із металевої сітки, товщиною 1 мм.
- Результати дослідження та розрахунків наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

**Результати експериментально-аналітичного визначення граничних коефіцієнтів
витягування циліндричних ковпачків
діаметром $d_c = 29$ мм**



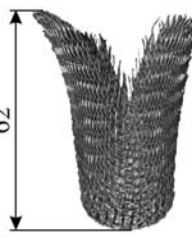
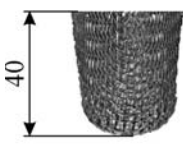
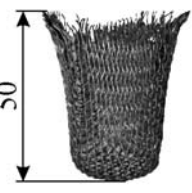
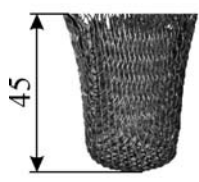
Діаметр (розмір) вихідної заготовки D , мм	Коефіцієнт витягування $m = d_c / D$	Висота витягнутого ковпачка h_{min} , мм		
		Кругла вихідна заготовка із листової сталі 08	Кругла вихідна заготовка із металевої сітки	Квадратна вихідна заготовка із металевої сітки
50	0,580	15	12	6
55	0,527	17	14	9
60	0,483	20	16	13
65	0,446	Обрив dna	18	15
70	0,414	-	21	20
75	0,387	-	23	22
80	0,362	-	27	24
85	0,341	-	31	27
90	0,322	-	33	29
95	0,305	-	34	33
100	0,290	-	35	35
105	0,276	-	36	37
110	0,264	-	38	40
115	0,252	-	40	43
120	0,242	-	Обрив dna	45
125	0,232	-	-	Обрив dna

На підставі отриманих результатів виконано порівнювальний аналіз циліндричних ковпачків із різних вихідних заготовок при граничних значеннях коефіцієнтів витягування m_c (таблиця 3.3). Як бачимо, для отримання ковпачка мінімальної висотою 20 мм, доцільно використати квадратну сітчасту заготовку як таку, яка володіє найменшою площею: площа квадратної сітчастої вихідної заготовки на 5,7 % менша площі круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 та на 24,4 % менша площі круглої вихідної заготовки із сітки. Використання квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє суттєво зменшити собівартість витягнутого із неї виробу.

Для забезпечення якісного та точного ковпачка рекомендується його витягувати із вихідної заготовки, що має припуск на подальше обрізування. Величина припуску повинна бути не менше 2 – 3 розмірів в світлі вічка сітки. Крім того, рекомендується сполучати витягування з обрізуванням на одному штампі. З цією метою в штампі використовується ступінчастий пуансон, який в останній момент штампування «перекушує» дроти стрічки по лінії обрізування.

Таблиця 3.3

Порівнювальний аналіз циліндричних ковпачків із різних вихідних заготовок при граничних значеннях коефіцієнтів витягування m_2

Вихідна заготовка		Фото ковпачка при $m = m_2$	
		До обрізування	Після обрізування
Матеріал	Форма		
Листова сталь 08	Кругла	1.1 	1.2 
Металева сітка	Кругла	2.1 	2.2 
Металева сітка	Квадратна	3.1 	3.2 

За роботою [9], запропоновано спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком який відрізняється тим, що витягування здійснюють із квадратної заготовки, сторони якої паралельні діагоналям вічка сітки. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких нерівномірність висоти циліндричної частини деталі суттєво зменшується, що дозволяє на 35-40% знизити собівартість штампування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

Інтенсифікація витягування деталей із плоскої перфорованої заготовки. Виконані вище експериментальні дослідження щодо витягування деталей із сітчастої заготовки лягли в основу нового способу витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки [10]. Спосіб стосується області обробки металів тиском, і може бути використаний в машинобудуванні для глибокого витягування деталей із листової заготовки з перфорованою поверхнею. У відомому способі витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки зменшення коефіцієнта витягування m до величини меншої граничного m_2 , приводить до обриву дна деталі. Так, за даними роботи [11, с. 118] для листової сталі 08 m_2 становить 0,46. Це суттєво обмежує глибину витягування, а глибоке витягування деталей за одну технологічну операцію відомим способом неможливе. Задачею даного технічного рішення є створення таких умов витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування m_2 зменшується нижче 0,46, що дозволить реалізувати більш глибоке витягування деталей за один хід пресу.

Дана задача вирішується у відомому способі витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки за рахунок того, що:

- **пункт 1.** Заготовку 1 попередньо перфорують (рис. 3.64). Звичайно отвори перфорації 2 в ній невеликі та розташовані з однаковим кроком за осями X та Y . Завдяки наявності на заготовці отворів перфорації 2 зусилля витягування зменшується. Тому є можливим підвищити діаметр вихідної заготовки і тим самим зменшити коефіцієнт витягування, порівняно з коефіцієнтом витягування із заготовки без перфорації. А, при однаковому середньому діаметрі витягнутої

заготовки d_c , меншому коефіцієнту витягування відповідає більша висота h_1 отриманої деталі 6. Отже, наявність на заготовці 1 отворів перфорації 2 дозволяє підвищити глибину витягування деталей за одну технологічну операцію;

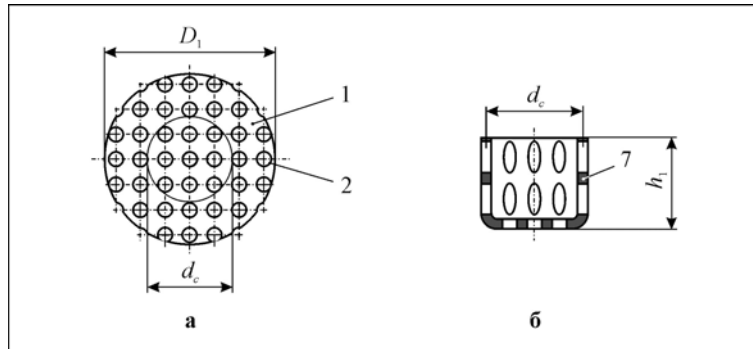


Рис. 3.64. Заготовка (а) та деталь (б) після витягування за пунктом 1

- пункт 2. Перфорацію заготовки 8 виконують тільки в області фланця, внутрішній діаметр якого дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі 9 (рис. 3.65). При цьому, дно 10 деталі 9 посилюється. Тому є можливим підвищити діаметр вихідної заготовки 8 з D_1 до D_2 і тим самим ще зменшити коефіцієнт витягування m_2 , а отже глибину витягування деталі 9 з h_1 до h_2 ;

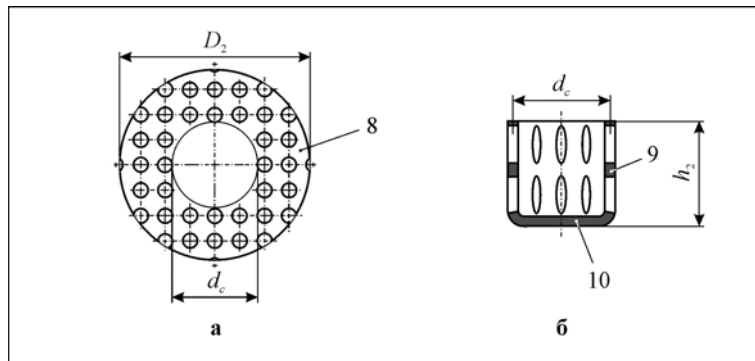


Рис. 3.65. Заготовка (а) та деталь (б) після витягування за пунктом 2

- пункт 3. Перфорацію заготовки виконують так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі розташування отворів перфорації дорівнювала довжини кола за середнім діаметром d_c отриманої циліндричної деталі, тобто є справедливим вираз: $\Sigma a_i = \pi \cdot d_c$.

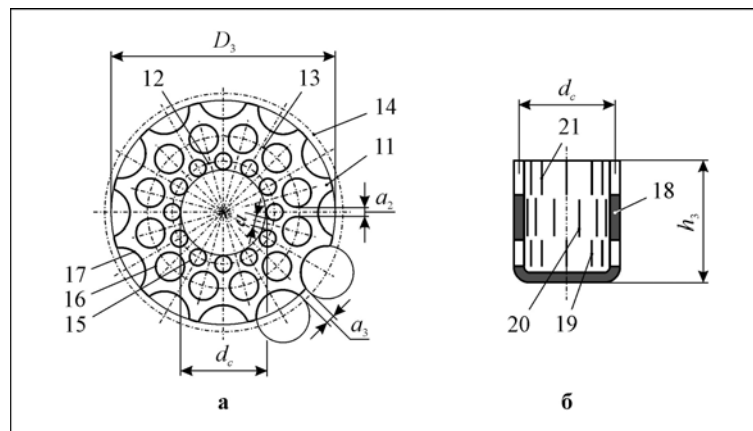


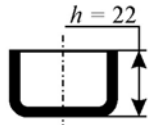
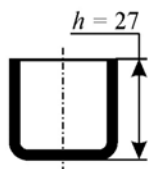

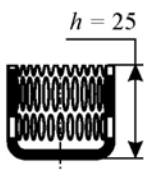
Рис. 3.66. Заготовка (а) та деталь (б) після витягування за пунктом 3

При цьому, зусилля витягування деталі 18 ще більше зменшується. Тому є можливим підвищити діаметр вихідної заготовки 11 з D_2 до D_3 і тим самим ще зменшити коефіцієнт витягування m_3 . Спосіб витягування за пунктом 3 дозволяє отримати найбільшу глибину витягування h_3 деталі 18 так, що стає справедливим співвідношення: $h_1 < h_2 < h_3$. Крім того, точне виконання на заготовці 11 перемичок a_1, a_2, a_3 та розрахованих за вказаним принципом залежних від них діаметрів отворів 15, 16, 17 дозволяють отримати деталь 18 із закритими, або майже закритими отворами перфорації 19, 20, 21.

Результати випробування даного способу витягування наведено в таблиці 3.4

Таблиця 4.1

Результати випробування нового способу витягування

Матеріал заготовки	Діаметр заготовки, D , мм	Діаметр ковпачка за середньою лінією, d_c , мм	Коефіцієнт витягування, m	Ескіз витягнутого ковпачка	
				із суцільної заготовки	із не суцільної заготовки
Сталь 08	55	29	0,52		—
	60		0,48		—
	65		0,44		



Як бачимо, граничний коефіцієнт витягування для суцільної заготовки лежить між значеннями 0,48 – 0,44, в той час, як для не суцільної заготовки він значно менший. Останнє підтверджується тим, що при коефіцієнті витягування $m = 0,44$ ковпачок із суцільної заготовки не утворюється (спостерігається відрив дна), а із не суцільної утворюється (рис. 3.67).

Рис. 3.67. Деталь, що витягнута із перфорованої круглої металевої листової заготовки (див. рис. 3.66)

Крім того, виявлено, що висота ковпачка із не суцільної заготовки на 2 мм менша висоти отриманого ковпачка із суцільної заготовки. Пояснюється дане явище таким чином. При деформації характеристичних трикут-

ників [12, с.150, рис. 70)] у фланці суцільної заготовки метал повністю видавлюється вгору, що сприяє підвищенню висоти ковпачка, а при деформації характеристичних трикутників з перфорацією у фланці не суцільної заготовки метал видавлюється вгору лише частково, бо замість металу в трикутниках є повітря в отворах. Останнє є особливістю нового способу витягування, що позитивно впливає на зниження граничного коефіцієнта витягування, зменшення зусилля штампування та підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування значно зменшується ($[m] \ll 0,46$), що дозволяє реалізувати більш глибоке витягування деталей за один хід пресу.

Витягування деталей із пластмас. Пустотілі тонкостінні деталі (вироби) промислового та побутового призначення (автокузовні облицювальні деталі, деталі холодильників, раковини вмивальників, корпуси різних приборів, дитячі ванни, дитячі іграшки тощо) виготовляють із листових термопластичних пластмасових заготовок, які перед формозміною нагрівають до певної температури. Тільки фібру перед штампуванням звожують. У наслідок нагрівання пластичні властивості заготовок суттєво підвищуються, і це дозволяє деформувати їх із високим ступенем деформації без руйнування.

Найбільш термопластичні листові пластмаси – полістирол, поліетилен, органічне скло тощо. Температура їхнього нагрівання в залежності від виду лежить у межах 110...160 °С. З них виготовляють найбільш глибокі та складні за формою деталі.

Менш пластичні пластмаси – текстоліт, склотекстоліт та їх подібні. Температура нагрівання текстоліту складає 170 °С, а склотекстоліту – 230 °С. З них виготовляють не глибокі деталі промислового призначення.

Гетинакс, ебоніт та матеріали на основі шлюди – у штампах пластично не деформуються.

Для виготовлення пластмасових деталей витягуванням-формовкою використовують спеціальні установки з автономним приводом. У масовому та великосерійному виробництвах найбільш широке використання отримали спеціальні вакуум-формовочні установки, що мають вакуум-насос, компресор, термоекран та пристрій, що дозволяє працювати в автоматичному режимі.

Конструктивна схема однієї з таких установок для виготовлення холодильної камери побутового холодильника показана на рис. 3.68, а. До її складу входять:

- алюмінієвий пуансон 1, що має велику кількість маленьких отворів по лініям перегинання деталі;
- плита-основа 2;
- пневмопривод пуансона 3;
- затискний пристрій 4, що герметизує;
- корпус 5.

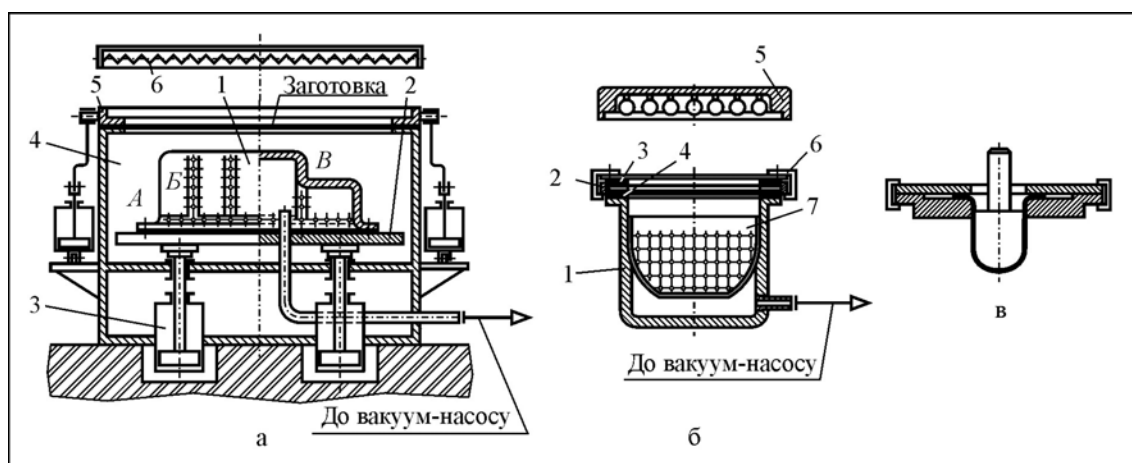


Рис. 3.68. Схеми вакуум-формуванняльних установок (а, б) та схема штампа (в) для виготовлення деталей із листових пластмас

Заготовку з полістиролу встановлюють у затискний устрій 4, після чого нагрівають до температури 110...120 °С нагрівачем 6. При переміщенні пуансона у верхнє положення заготовка обтягується за пуансоном, але кутів не заповнює. Відбувається формування за рахунок зменшення товщини стінки (з 5 до 1,5 мм). Внаслідок створення вакууму в кутових порожнинах пуансона А, Б, В та інших (див. 3.68, а) заготовка заповнює усі кутові ділянки, западини тощо, тому, що в цих місцях створюється розрядження. Після закінчення вакуумування напівфабрикат охолоджують струменем стисненого повітря до температури 30 °С та вилучають з установки.

У дрібносерійному виробництві для виготовлення середніх та крупних деталей, що мають форму тіл обертання з органічного скла та інших пластмас, застосовують вакуум-формовочні установки більш простої конструкції (рис. 3.68, б).

Крім розглянутих вакуум-формуючих установок для виготовлення деталей із листових пластмасових заготовок товщиною до 15...20 мм застосовують пневматичні установки для витягування-формування за жорсткою матрицею тиском стисненого повітря, а також штампи для витягування, що встановлюються на гідравлічні преси (рис. 3.60, в).

Мастильно-охолоджуючі технологічні засоби (МОТЗ), що застосовуються при витягуванні. При витягуванні з високим ступенем деформації правильний вибір МОТЗ, їх складу та в'язкості має велике значення. Використання ефективних МОТЗ дозволяє усталено вести процес при високій якості поверхні виробів та задовільній стійкості інструмента.

Розрізняють дві групи МОТЗ:

- матеріали без наповнювачів. Вони не створюють достатньо міцної екрануючої плівки, що розділяє, та порівняно легко видавлюються;
- матеріали з наповнювачами у вигляді крейди, тальку, порошкоподібного графіту, деревного борошна – найкращі матеріали для високих питомих зусиль. Застосування таких матеріалів, крім підвищення допустимого ступеня деформації, підвищує стійкість інструмента (особливо матриць), так як наповнювач є розділовим шаром між заготовкою та інструментом.

Вимоги до МОТЗ:

- створювати міцну плівку, що не засихає, яка здатна витримувати високі питомі зусилля. При цьому плівка не видавлюється з контактної поверхні;
- забезпечити добре прилипання (зчеплення) та рівномірний розподіл шару, що змащує;
- легко вилучатися з поверхні готового виробу;
- бути хімічно стійкими та нешкідливими;
- частки наповнювача не повинні шкодити (дряпати) поверхонь виробу та інструмента;
- не змінювати свою в'язкість зі зміною температури, тобто бути термостабільними.

Рекомендації щодо застосування МОТЗ при витягуванні:

- *сталевих деталей*: веретенне масло з різного роду наповнювачами у вигляді тальку, сірки, графіту, крейди тощо. Для нескладних деталей використовують мастильні матеріали із присадками хлору та сірки типу ХС-147, ХС-163, ХС-164, Укринол-23 тощо;
- *жароміцних і титанових сплавів та корозійностійкої сталі*: пасту БЖС-4, покриття заготовки лаком ХВЛ-21, використання поліетиленових або паперових пропарафінованих прокладок, пластифіковане мідне покриття заготовки;
- *алюмінієвих сплавів*: шар воску та скипидару або технічний вазелін;
- *міді*: Укринол-3, тваринний жир, сурепне масло або мильно-масляну емульсію;
- *з потоншенням*: водно-мильну емульсію;
- *штампування вибухом алюмінієвих сплавів*: вазелінове масло або 10 %-ну водно-мильну емульсію.

Розглянуті мастильні матеріали використовуються не тільки для витягування, але й для гнуття, обтискування, роздавання, відборткування тощо.

3.4. Відборткування, обтискування, роздавання

Відборткування отворів. Відборткуванням отримують горловини на плоских заготовках або на заготовках різної кривизни (циліндр, конус, сфера тощо), у яких, як правило, є технологічний отвір, що еквідистантний контуру горловини.

У процесі відбортування одночасно збільшують технологічний отвір d_0 та вигинають заготовку за робочою кромкою матриці (рис. 3.69, а, б), а далі вирівнюють її при переміщенні відносно робочої кромки пуансона (рис. 3.69, в).

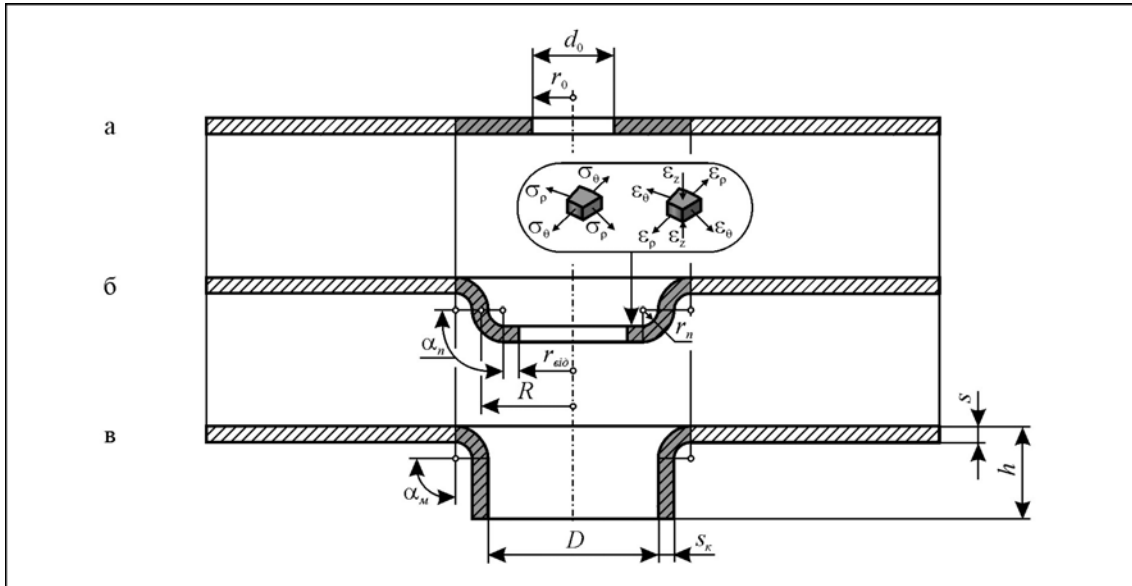


Рис. 3.69. Морфологія зміни форми заготовки в процесі відбортування: а – вихідна заготовка; б – проміжна заготовка; в – заготовка після відбортування

Зона пластичної деформації при відбортуванні являє собою кільцеву ділянку, що обмежена радіусами $r_{\text{від}}$ та R (рис. 3.69 виділено темним кольором). Напружений стан зони пластичної деформації – плоский, характеризується двовісним розтяганням у радіальному та окружному напрямках. У зв'язку із цим пластичність матеріалу заготовки невисока, висота горловини, що отримана відбортуванням, складає всього 0,2...0,3 її діаметра.

При відбортуванні в холодному стані відбувається зміцнення металу та зменшення товщини заготовки в зоні деформації (потоншення борта). Це явище зменшує максимальні, радіально спрямовані напруження $\sigma_{p \text{ max}}$, що розтягають, в той же час як зміцнення їх підвищує. Таким чином, можна вважати, що вплив зміцнення та потоншення на $\sigma_{p \text{ max}}$ компенсують одне одного. Формула для визначення найбільшого радіального напруження, що розтягає має вигляд:

$$\sigma_{p \text{ max}} = \sigma_s \left(1 - \frac{r_0}{R} + \frac{s}{2r_n + s} + \frac{s}{4r_m + 2s} \right) (1 + 1,6\mu), \quad (3.33)$$

де $r_0 = r + 0,57(r_m + r_n + s)$ - радіус технологічного отвору в заготовці в «піковий» момент відбортування;

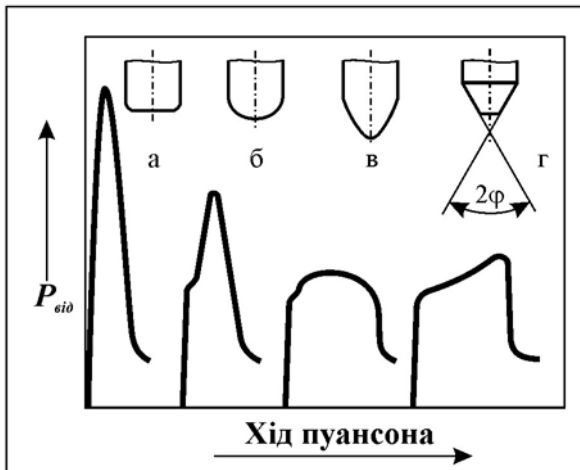
R - радіус горловини.

У формулі (3.33):

- двочлен $(1 - r_0 / R)$ являє собою ступінь деформації;
- додатки $s / (2r_n + s)$ та $s / (4r_m + 2s)$ ураховують вигин заготовки на кромках пуансона та матриці відповідно;
- множник $(1 + 1,6\mu)$ - контактне тертя на робочій кромці пуансона.

Зусилля відбортування заготовки циліндричним пуансоном визначається за наближеною формулою:

$$P_{\text{від}} = 1,1\pi s \sigma_m (D - d), \quad (3.34)$$



де D - діаметр відборування, мм;

На зусилля відборування суттєво впливає форма робочої частини пуансона (рис. 3.70). Найменше зусилля витягування забезпечують пуанسونи параболічної та конічної форми.

Рис. 3.70. Якісна залежність зусилля відборування від форми робочої частини пуансона: а – циліндрична форма; б – сферична форма; в – параболічна форма; г – конічна форма

Коефіцієнт відборування (рис. 3.69) визначається за формулою:

$$K_{\text{від}} = \frac{D}{d_0}, \quad (3.35)$$

де D – діаметр горловини;

d_0 – діаметр технологічного отвору.

Для визначення граничного коефіцієнта відборування використовують експериментальні дані у вигляді таблиць або графічних залежностей. Аналіз цих даних показує, що зі збільшенням відносної товщини заготовки s/D значення граничного коефіцієнта відборування $K_{\text{від}}$ збільшується (рис. 3.71, а).

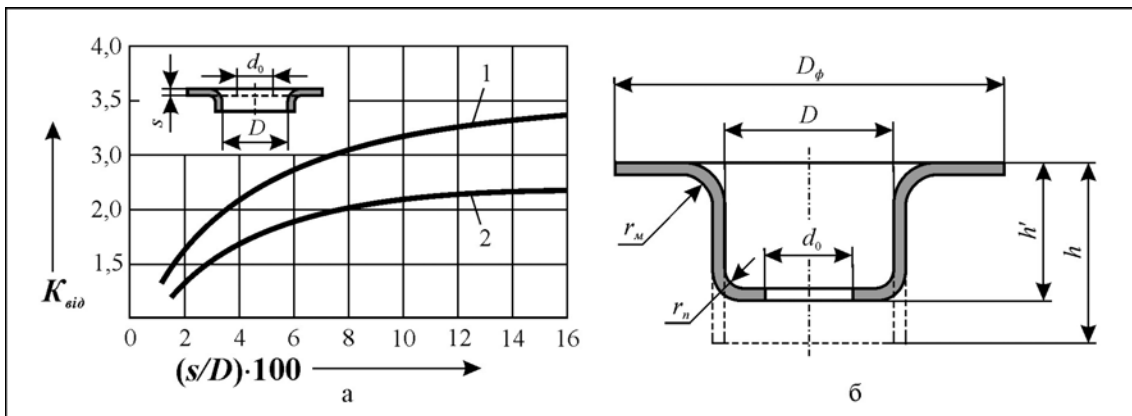


Рис. 3.71. Залежність граничного коефіцієнта відборування $K_{\text{від}}$ від відносної товщини заготовки s/D для сталі 08: 1 – отвір d_0 отримано пробиванням; 2 – отвір d_0 отримано свердленням; а – графічна залежність; б – розрахункова схема горловини, що отримано витягування та відборуванням

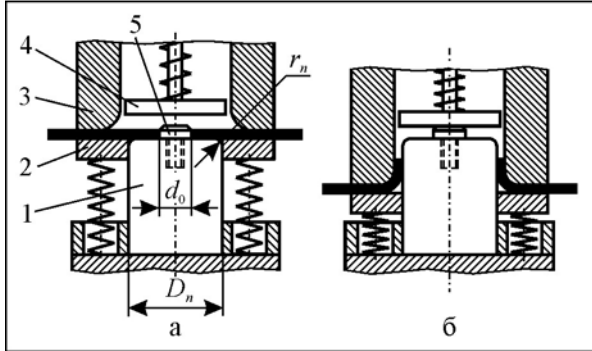
Діаметр технологічного отвору визначається за формулою (див. рис. 3.69):

$$d_0 = D + 2,4s + 0,9r_m - 2h. \quad (3.36)$$

Висота борта h звичайно не перебільшує 0,3 діаметра горловини D . У тому випадку, коли висота горловини більше межевої ($h > h_{\text{max}}$), горловину отримують попереднім витягуванням (рис. 3.71, б). При цьому глибину витягування визначають за формулою

$$h' \approx h - 0,28 \frac{K_{ei0} - 1}{K_{ei0}}, \quad (3.37)$$

яка отримана при умові, що діаметр технологічного отвору $d_0 = (D + s) / K_{ei0}$ та радіус округлення дна поглиблення $r_n = (D - d_0) / 2$.



Штампи для відбортування за своєю конструкцією схожі на штампи для першого витягування (рис. 3.72). Відміна полягає в тому, що на пуансоні закріплюється фіксатор. Радіус округлення пуансона r_n приймається рівним 6-8 товщинам заготовки.

Рис. 3.72. Схема штампа для відбортування: а – початкова фаза; б – кінцева фаза; 1 – пуансон; 2 – знімач; 3 – матриця; 4 – виштовхувач; 5 – фіксатор

Відбортування плоских кільцевих заготовок. При штампуванні плоских заготовок можливі різні варіанти формозміни, а саме:

- витягування циліндричної деталі діаметром d при незмінному діаметрі отвору d_0 (рис. 3.73, а);

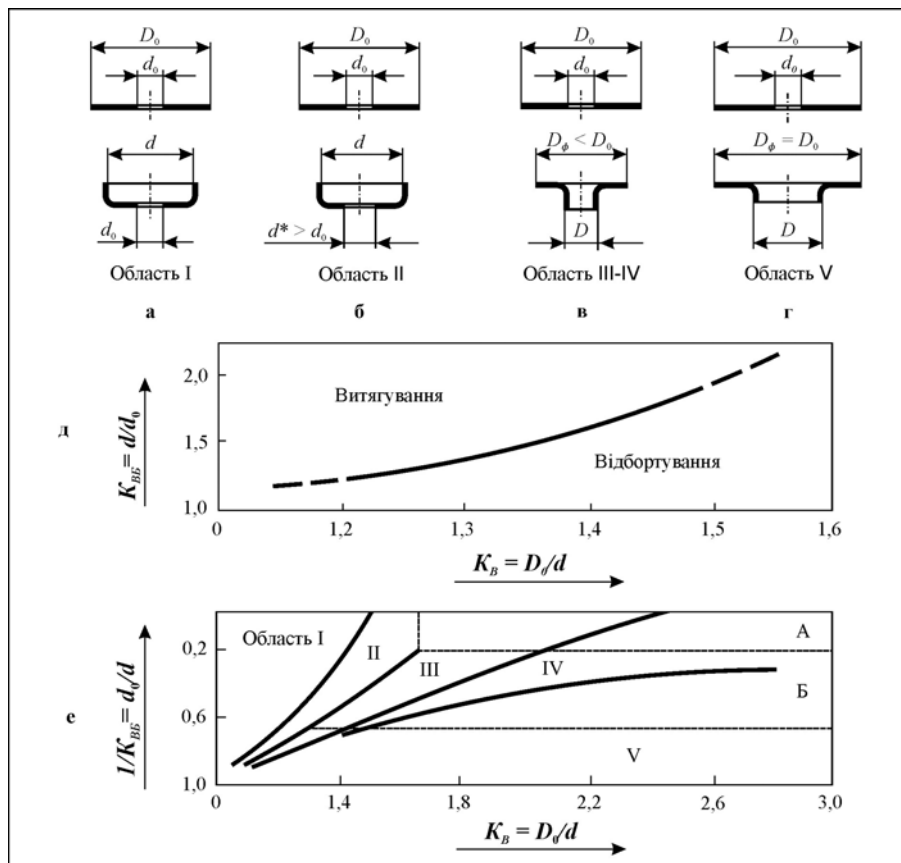


Рис. 3.73. Відбортування плоских кільцевих заготовок: а...г – можливі варіанти формотворення; д – гранична крива розподілу областей відбортування та витягування; е – граничні криві за 3. Марчиньяком (Польща)

- витягування циліндричної деталі супроводжується збільшенням діаметра d_0 (рис. 3.73, б);
- відбортування горловини діаметром D , що супроводжується зменшенням діаметра заготовки D_0 (рис. 3.73, в);
- відбортування горловини при незмінному діаметрі заготовки D_0 (рис. 3.73, г).

При рівних зусиллях витягування та відбортування початок обох процесів рівно імовірно. Граничну криву показано на рис. 3.73, д. Більш детальне дослідження формозміни кільцевих заготовок виконано З. Марчиньком (Польща), його результати представлено у вигляді граничних кривих (рис. 3.73, е). Зона А відповідає руйнуванню заготовки (тріщини, відривання дна), зона Б – штампуванню без руйнування. Із графіка видно, що відбортування можливе лише в області V коли $D_\phi = D_0$. При інших співвідношеннях діаметрів D , d та d_0 (області III, IV) процес відбортування можливий лише при жорсткому притиску фланця.

Особливі способи відбортування. Крім традиційних способів відбортування, існують і інші:

- відбортування з накладанням осьових нормальних тисків, що стискають за кромкою отвору (рис. 3.74, а);

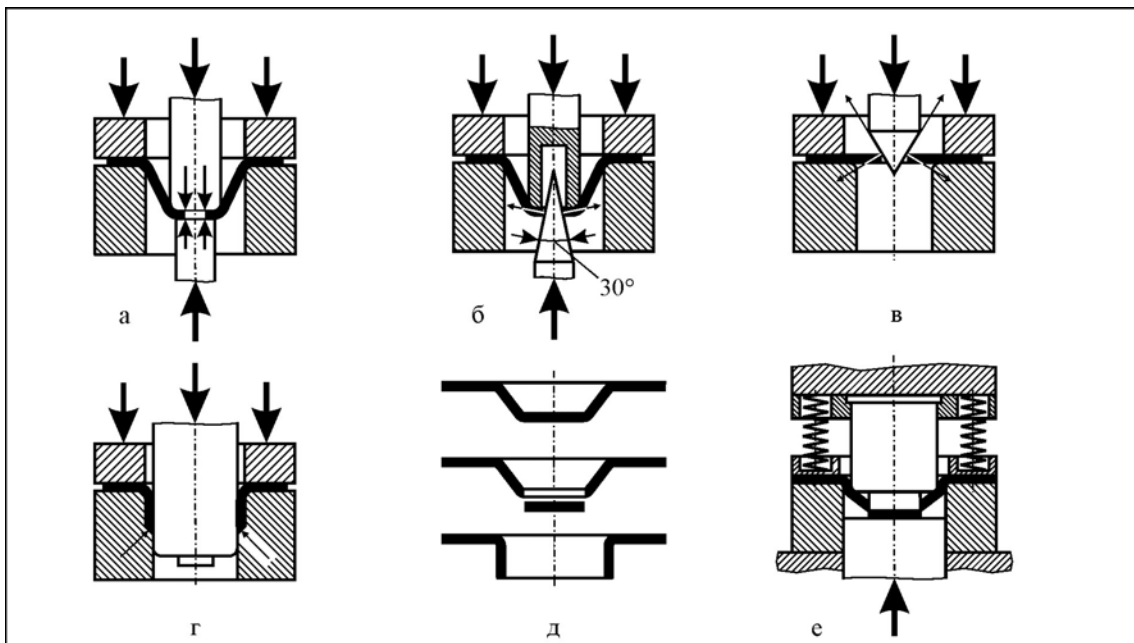


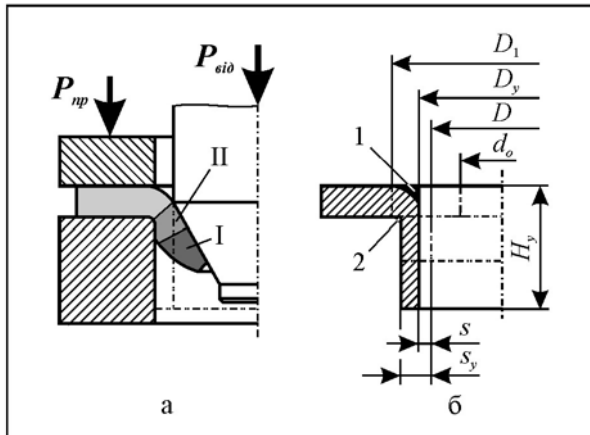
Рис. 3.74. Особливі способи відбортування

- відбортування з накладанням радіальних тисків, що стискають за кромкою отвору (рис. 3.74, б);
- відбортування з попереднім вигладжуванням бічної поверхні отвору конусним пуансоном (рис. 3.74, в);
- відбортування з накладанням нормальних осьових напружень у кінцевий момент деформування (рис. 3.74, г);
- суміщення відбортування з попереднім формуванням виступу для горловини та пробивання отвору (рис. 3.74, д);
- формовка, пробивання та відбортування в штампі суміщеної дії (рис. 3.74, е) та інші.

Накладання тисків, що стискають на вогнище деформації сприяє підвищенню пластичності та, отже, підвищенню межового ступеню деформації. Вигладжування кромки отвору конічним пуансоном усуває мікротріщини, що з'явилися після пробивання технологічного отвору, що також сприяє підвищенню ступеню деформації. В останньому випадку (рис. 3.66, е) пробивання отвору здійснюється пуансоном без матриці, гострі кромки якого надрізують обтягнуту біля нього заготовку, а далі вилучають відхід.

Відборткування з потоншенням стінки. Якщо треба отримати високу горловину, її виготовляють у штампі з однобічним зазором між пуансоном та матрицею менше товщини вихідної заготовки ($z < s$). При цьому збільшення висоти горловини відбувається внаслідок навмисного зменшення товщини борта. Такий спосіб формозміни називається *відборткуванням із потоншенням*.

Деталі, що отримані даним способом, мають високу точність діаметральних розмірів горловини (8...10 квалітет) та низьку шорсткість поверхні ($Ra = 3,2...1,6$). Твердість горловини підвищується на 30...40 % порівняно з твердістю заготовки.



Відборткування з потоншенням виконують конусним пуансоном. Спочатку здійснюється відборткування без потоншення (рис. 3.75, а), а далі, коли в матрицю ввійде циліндрична його частина, починається відборткування з потоншенням (рис. 3.75, б).

Рис. 3.75. Схема відборткування з потоншенням стінки: а – початкова фаза; б – кінцева фаза

Ступінь деформації при відборткуванні з потоншенням стінки характеризується двома показниками:

- коефіцієнтом відборткування без

потоншення $K_{eid} = D/d_o$ (d_o - діаметр технологічного отвору; D - діаметр горловини, отриманої без потоншення);

- коефіцієнтом відборткування з потоншенням (або коефіцієнтом потоншення), який являє собою відношення товщини вихідної заготовки до товщини стінки горловини (після потоншення) $K_{eid\ nom} = s/s_\delta$.

Вогнище пластичної деформації при відборткуванні з потоншенням складається з ділянки I, у межах якої здійснюється відборткування без потоншення, та ділянки II, де відбувається навмисне потоншення борта (рис. 3.75, а). На ділянці I вогнища пластичної деформації виникає плоский напружений стан, на ділянці II – об'ємний.

Оптимальне значення кута нахилу твірної конусного пуансону, при якому технологічне зусилля найменше, можна визначити за формулою:

$$\cos \alpha_{omn} \approx 1 - 0,5\mu \left[2 - \ln \frac{s}{s_\delta} \right] \ln \frac{s}{s_\delta}, \quad (3.38)$$

де s_δ - товщина борта горловини після відборткування з потоншенням.

При $\mu = 0,1$ та $s/s_\delta = 0,5$ $\alpha_{omn} = 20^\circ$.

Зусилля відборткування з потоншенням наближено можна розрахувати за формулою:

$$P_{eid} \approx \pi (D_{nom} + s_{nom}) s_{nom} \sigma_{s\ cep}. \quad (3.39)$$

Обтискування пустотілих циліндричних заготовок. Обтискуванням обробляють заготовки у вигляді відрізків труб, зварених кільцевих обичайок та циліндричних напівфабрикатів, що отримані витягуванням. Заготовки із дном можуть бути обтиснуті як із збоку відкритого кінця (торця), так і з боку дна (рис. 3.68).

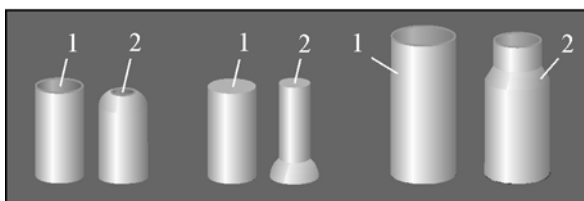


Рис. 3.76. Заготовки 1 та деталі 2, що отримані обтискуванням

У масовому та великосерійному виробництві обтискування здійснюють у спеціальних штампах, робочим органом яких є кільцева матриця. Обтискування отримують горловини циліндричних бідонів, балонів аерозольної упаковки, різні перехідні деталі трубопроводів, горловини гільз тощо (рис. 3.77).

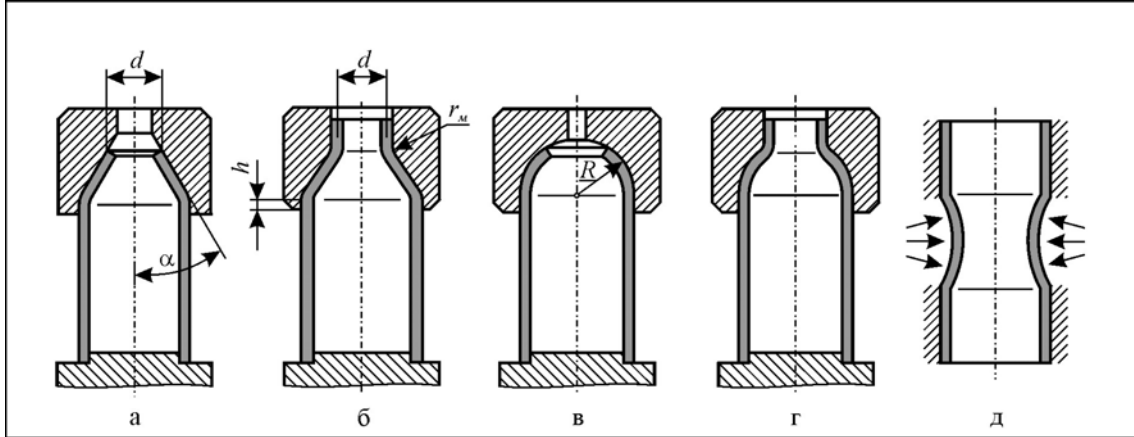


Рис. 3.77. Схеми формоутворення деталей обтискуванням

Деформація при обтискуванні оцінюється коефіцієнтом обтискування, який являє собою відношення діаметра заготовки до середнього діаметру деформованої її частини

$$K_{об} = \frac{D}{d}. \quad (3.40)$$

При обтискуванні внутрішня поверхня вогнища деформації не навантажена (рис. 3.78, а), а напруження σ_n , що передається матрицею, при відносно тонкостінній заготовці мале порівняно з напруженням текучості. У зв'язку із цим можна вважати, що напружений стан при обтискуванні плоский, характеризується двовісним нерівномірним стисненням нормальними напруженнями σ_p та σ_θ (рис. 3.78, а).

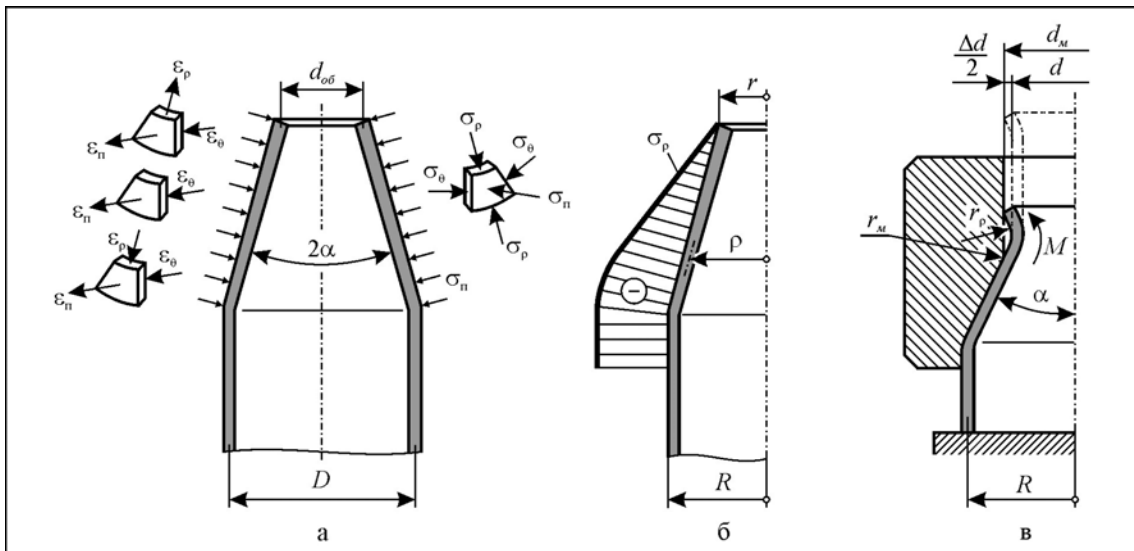


Рис. 3.78. Схема деформаційного напруженого стану при обтискуванні (а), епюра напружень у вогнищі деформації (б) та схема обтискування при малому радіусі r_m округлення робочої кромки матриці (в)

Товщина стінки у кромки отвору:

$$s_k = s \sqrt{\frac{D}{d}} = s \sqrt{K_{об}} \quad (3.41)$$

Із формули (3.41) виходить, що товщина стінки у краю деформованої частини заготовки більше товщини стінки вихідної заготовки (рис. 3.78, б), і вона підвищується зі збільшенням коефіцієнта обтискування $K_{об}$.

Оптимальний кут нахилу твірної матриці для обтискування визначається за формулою:

$$\sin \alpha_{opt} \approx \sqrt[3]{\frac{\mu}{2}}. \quad (3.42)$$

Розрахунки показують, що при $\mu = 0,1$ $\alpha_{opt} = 21^\circ 36'$, а при $\mu = 0,05$ $\alpha_{opt} = 17^\circ$.

При обтискуванні в конічній матриці із центральним отвором крайова частина заготовки при переході з конічної в циліндричну порожнину вигинається (повертається), а далі при походженні крізь неї знову набуває циліндричної форми (дія вигинальних моментів). При обтискуванні з малим радіусом округлення робочої частини матриці кінцева частина заготовки залишається викривленою (рис. 3.78, в).

Деформуюче зусилля при обтискуванні визначається за формулою:

$$P_{об} \approx \pi D s \sigma_s. \quad (3.43)$$

Допустимий коефіцієнт обтискування. Обтискування здійснюється при нерівномірному стисненню в осьовому та окружному напрямках. При певному критичному значенні напружень σ_p та σ_θ відбувається локальна втрата усталеності заготовки (спучування), яка завершується, у більшості випадків складкоутворенням (рис. 3.79).

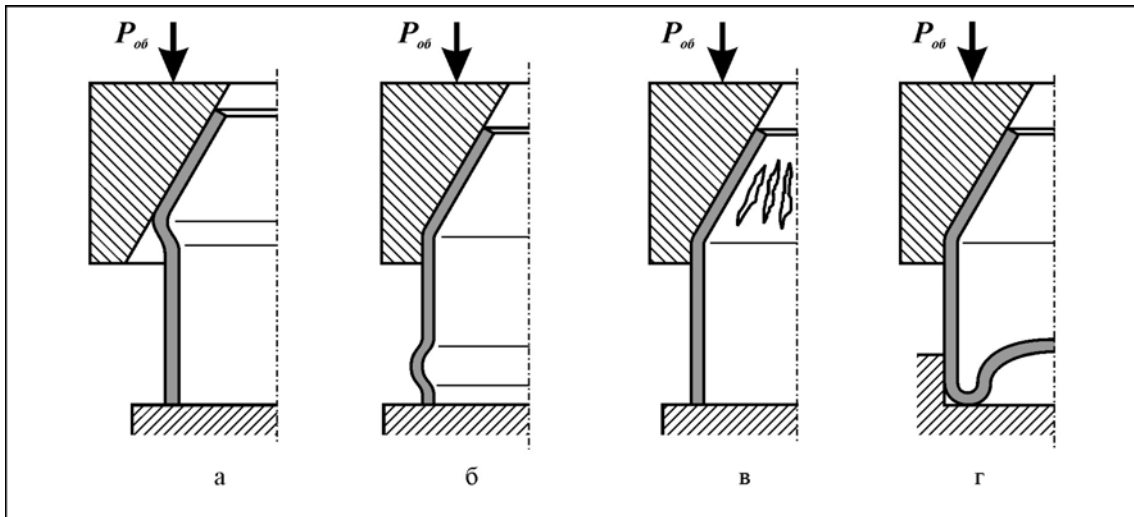


Рис. 3.79. Види локальної втрати усталеності при обтискуванні

Межовий (граничний) коефіцієнт обтискування наближено може бути визначено теоретично з умови зберігання усталеності заготовки, тобто коли

$$\sigma_{p \max} \leq \sigma_{кр}, \quad (3.44)$$

де $\sigma_{кр}$ - критичне напруження, при якому відбувається втрата усталеності

$$\sigma_{кр} = \varphi_y \sigma_m, \quad (3.45)$$

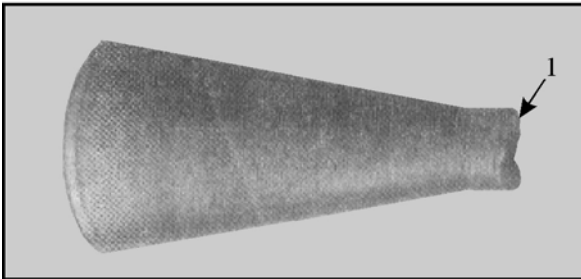
φ_y - коефіцієнт запасу усталеності, який визначається експериментально.

Формула для визначення межового коефіцієнта обтискування:

$$K_{об\ меж} = \frac{1}{1 - \left[\frac{0,81\varphi_y \sigma_m (1 - e^{-n})^{n-1}}{\sigma_s (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) (3 - 2 \cos \alpha)} \right]^{e^{-n}}}. \quad (3.46)$$

Для створення деякого запасу усталеності розрахункові значення $K_{об\ меж}$ зменшують на 10...15 %:

$$K_{об} = \frac{K_{об\ меж}}{1,1 \dots 1,15}. \quad (3.47)$$



Внаслідок площинної анізотропії при обтискуванні утворюються фестони (рис. 3.80), що потребує обрізування нерівного краю.

Рис. 3. 80. Фестони 1 після обтискування

Розміри початкової заготовки. Поздовжня довжина заготовки визначається з умови незмінності об'єму, а діаметр та товщина стінки приймаються такими, що дорівнюють діаметру та товщині стінки не обтиснутої ділянки (D та s , відповідно, рис. 3.81).

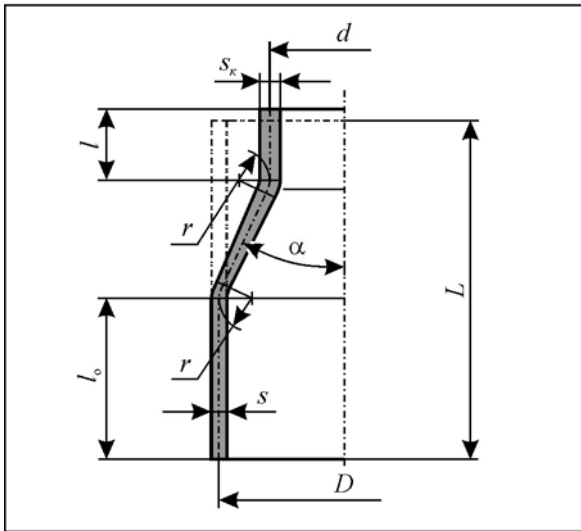


Рис. 3.81. До визначення розмірів вихідної заготовки при обтискуванні

Конструктивні особливості штампів. Конструкція штампів для обтискування залежить від потрібного ступеню деформації:

- якщо ступінь деформації наближається до критичного (можлива місцева втрата усталеності у вигляді складки), застосовують напівзакриті штампи із частковим протитиском;
- при високому ступеню обтискування, коли коефіцієнт обтискування

більше допустимого, використовують закриті штампи за всією висотою заготовки, що запобігає появі кільцевої складки (рис. 3. 82).

Роздавання пустотілих циліндричних заготовок. Внаслідок роздавання відбувається зменшення товщини стінки та довжини твірної заготовки в зоні пластичної деформації, яка охоплює ділянку зі збільшеними поперечними розмірами. У процесі роздавання у вогнищі деформації виникають окружні напруження, що розтягають та радіальні напруження, що стискають.

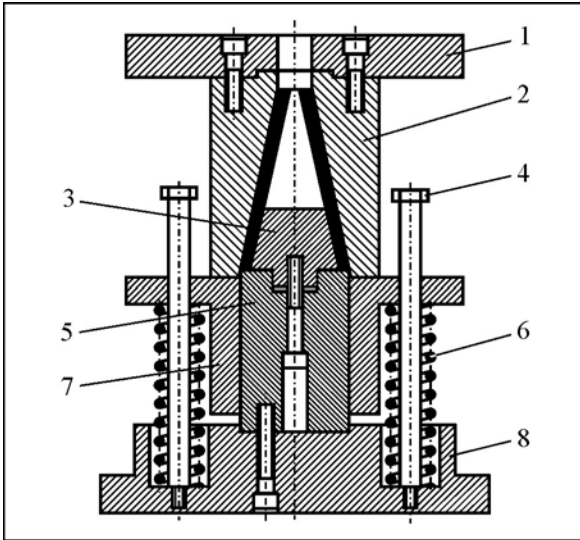


Рис. 3.82. Закритий штамп для обтискування:

- 1 – верхня плита;
- 2 – матриця;
- 3 – фіксатор;
- 4 – болт упорний;
- 5 – оправка опорна;
- 6 – пружина;
- 7 – втулка, що ковзається;
- 8 – плита нижня

У масовому та великосерійному виробництві роздавання деталей (рис. 3.83) виконують у спеціальних штампах, робочий орган яких – жорсткий суцільний пуансон із розмірами поперечного перерізу, що поступово збільшуються.

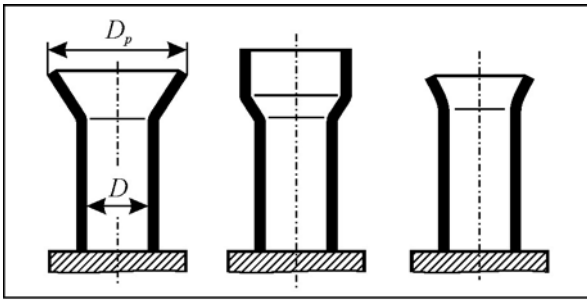


Рис. 3.83. Деталі, що отримано роздаванням

Формозміна заготовки оцінюється коефіцієнтом роздавання, що являє собою відношення найбільшого діаметра деформованої частини D_p до діаметру заготовки D :

$$K_p = \frac{D_p}{D}. \quad (3.48)$$

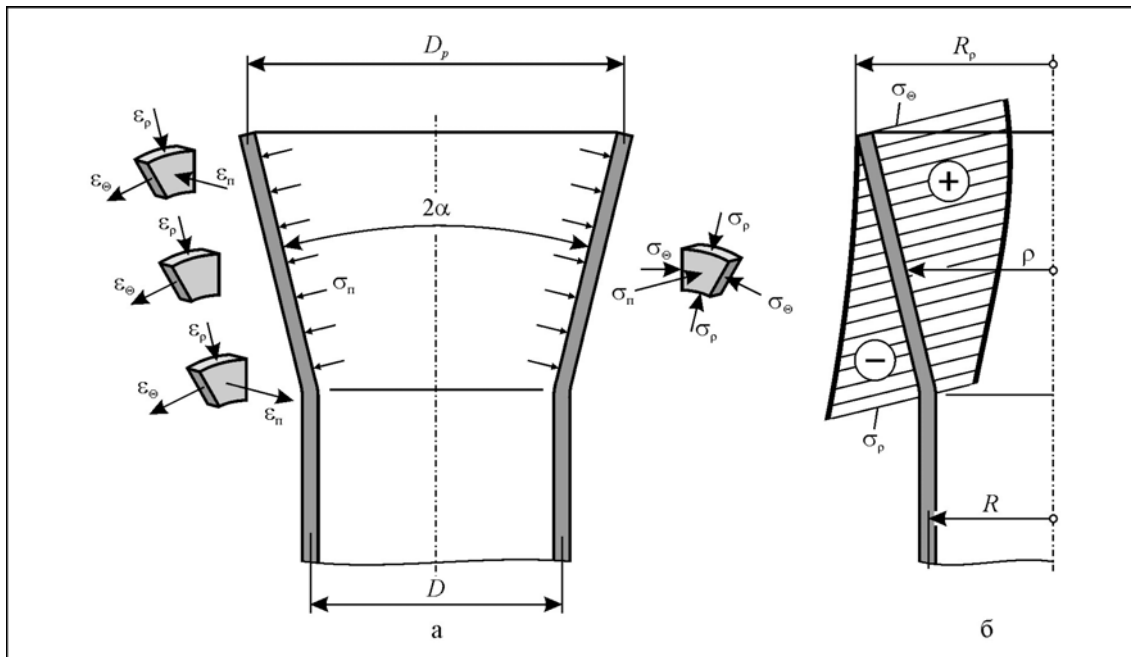
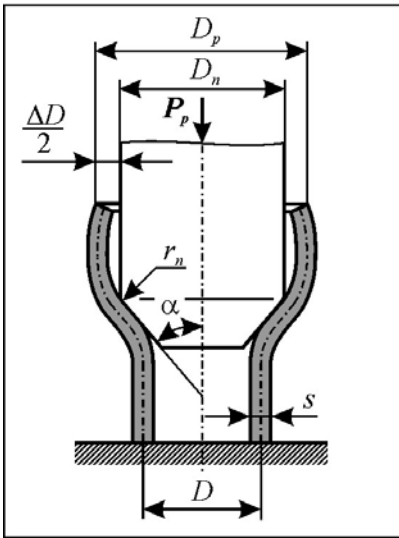


Рис. 3.84. Схема деформованого та напруженого стану при роздаванні (а) та епюри напружень (б)

При роздаванні зона пластичної деформації охоплює ділянку зі змінним поперечним перерізом, циліндрична її частина деформується пружно. Зовнішня частина заготовки не навантажена зовнішніми силами, а питоме зусилля, що передається пуансоном, при малої відносної товщині стінки мало порівняно з напруженням текучості. Тому можна вважати, що *напружений стан при роздаванні*, як і при обтискуванні, *плоский*, та характеризується стисненням в осьовому та окружному напрямках нормальними напруженнями σ_p та σ_Θ (рис. 3.84, а). Деформований стан при роздаванні неоднорідний за вогнищем деформації. Також, як і при обтискуванні, деформований стан змінюється в залежності від співвідношення нормальних напружень σ_p та σ_Θ . У точках, де напруження σ_p та σ_Θ рівні між собою за абсолютним значенням, товщина заготовки в процесі штампування не змінюється, деформований стан плоский. В останніх ділянках заготовки деформований стан об'ємний, причому там, де $|\sigma_p| > |\sigma_\Theta|$ спостерігається потовщення стінки, а на ділянці, де $|\sigma_p| < |\sigma_\Theta|$ - потоншення. Тому з деяким наближенням можна вважати, що у вогнищі деформації при роздаванні стінка заготовки тільки потоншується. Найменша товщина заготовки знаходиться у її кромки й визначається за формулою



$$s_k = s \sqrt{\frac{D}{D_p}} = \frac{s}{\sqrt{K_p}} \quad (3.49)$$

З формули (3.49) виходить, що потоншення стінки на кромці буде тим більше, чим більше коефіцієнт роздавання K_p .

При переміщенні заготовки повздовж циліндричної частини пуансона з малим радіусом округлення робочої кромки її тверда може загубити контакт із ним, вигнутися та прийняти бочкоподібну форму (рис. 3.77).

Рис. 3.85. Схема роздавання при малому радіусі округлення робочої кромки пуансона r_n

Це відбувається в зв'язку з тим, що при певній ширині крайової ділянки заготовки, що зійшла з кінцевої частини пуансона, вигинальний момент від окружних сил

збільшується так, що крайова частина заготовки вигинається в меридіональній площині.

Зусилля деформації при роздаванні визначають як добуток найбільшого за вогнищем деформації напруження $\sigma_{p \max}$, що діє в осьовому напрямку, площі поперечного перерізу та коефіцієнта $\omega = 1,1 \dots 2,2$:

$$P_p = \omega \cdot \sigma_{p \max} \cdot F = (1,1 \dots 1,2) \cdot \omega \cdot \sigma_{p \max} \cdot F, \quad (3.50)$$

а більш докладно:

$$P_p = 0,25 \omega \pi D s \sigma_s \left(\frac{D_p}{D} + 1 \right) \left[\left(\frac{D_p}{D} - 1 \right) (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) + 2 \sqrt{\frac{s}{D \cdot \sin \alpha}} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{D_p}} \right) (3 - 2 \cos \alpha) \right] \quad (3.51)$$

Критичний ступінь деформації при роздаванні регламентується одним із двох видів втрати усталеності, а саме – складкоутворенням у основі заготовки, або появою шийки на одній, чи на декількох ділянках кромки деформованої частини заготовки, що приводе до руйнування – тріщини (рис. 3.78).

Граничний коефіцієнт роздавання визначається за формулою:

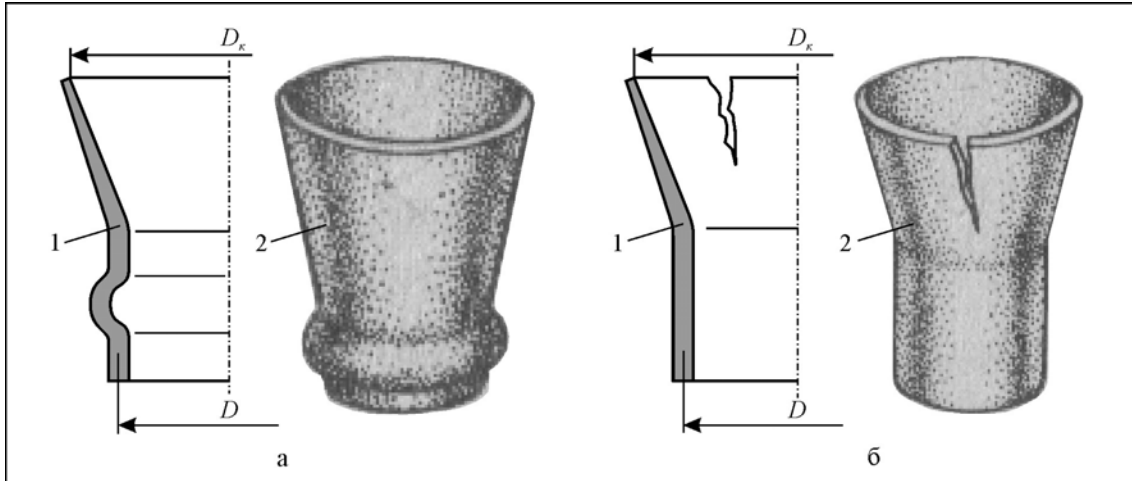
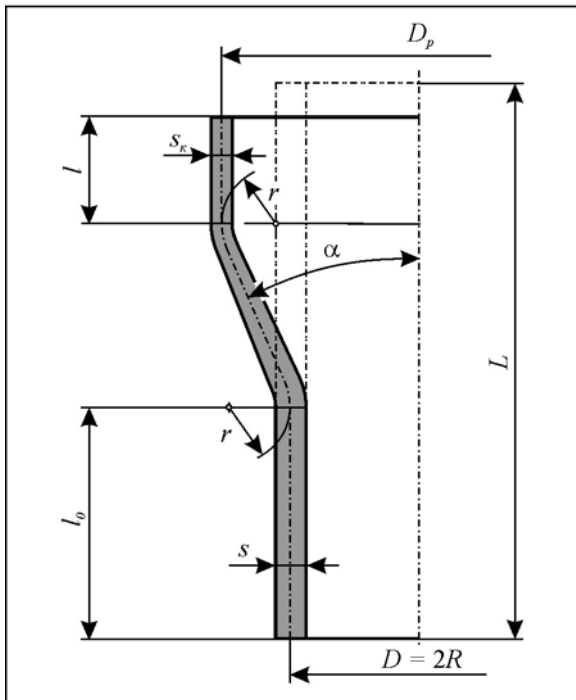


Рис. 3.86. Види локальної втрати усталеності при роздаванні: а – складкоутворення; б – критичне потоншення краю стінки, руйнування; 1 – схема перерізу виробу; 2 – 3D-зображення виробу



$$K_{p. меж} = \sqrt{\frac{2,2\varphi_y \sigma_m}{\sigma_e (1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha) (3 - 2 \cos \alpha)} + 1}, \quad (3.52)$$

де $\varphi_y = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_m}$ - коефіцієнт усталеності.

Розміри заготовки. Довжина заготовки L визначається із умови рівності об'єму заготовки до та після роздавання, а діаметр та товщина стінки заготовки приймаються рівними діаметру та товщині стінки циліндричної ділянки деталі D та s відповідно (рис. 3.87).

Рис. 3.87. До визначення розмірів заготовки при роздаванні

Штampi для роздавання. Конструкція штампів для роздавання залежить від потрібного ступеня деформації:

- якщо ступінь деформації порівняно

невеликий та коефіцієнт роздавання менше межового, місцева втрата усталеності виключена. Тому застосовують відкриті штампі без протитиску на циліндричну ділянку заготовки;

- при високих ступенях деформації, коли коефіцієнт роздавання більше межового, застосовують штампі зі втулкою-підпором, що ковзається та створює протитиск на циліндричну ділянку заготовки (рис. 3.88). Ступінь деформації підвищується на 25...30 %.

3.5. Рельєфне формування, правлення

Рельєфне формування листових заготовок. Формування характеризується двовісним розтяганням та зменшенням товщини заготовки в зоні пластичної деформації. Місцеві рельєфи в листових заготовках та місцеві кільцеві виступи в трубчастих заготовках отримують формуванням жорстким інструментом у штампі (рис. 3.89, а) або еластичним та рідким середовищем у рознімної матриці (рис. 3.89, б). Крім того, формуванням отримують ребра жорсткості.

зварюванням циліндричних та конічних обичайок (рис. 3.90). Секційні розтискні пуансони використовують як робочий інструмент у штампах для отримання дрібних та середніх деталей, а також при роботі на спеціальних обтяжних пресах для отримання великих деталей діаметром до 2000 мм, висотою 1000 мм і більше (великі деталі літаків, кузовні деталі автомобілів, корпусу пральних машин тощо).

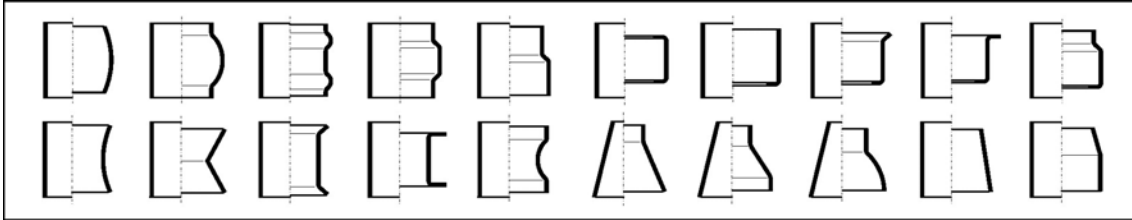


Рис. 3.90. Заготовки (ліворуч) та деталі (праворуч), що отримані кільцевим обтягуванням (формуванням)

Даний спосіб формозміни заготовок об'єднує з формуванням східна схема напруженого стану – двовісне розтягання, а також зменшення товщини заготовки в зоні пластичної деформації. Відміна полягає в тому, що пластично деформується вся заготовка, а не окрема її ділянка, тому висота деталі як правило менше висоти заготовки. Штмп для кільцевого обтягування показано на рис. 3.91.

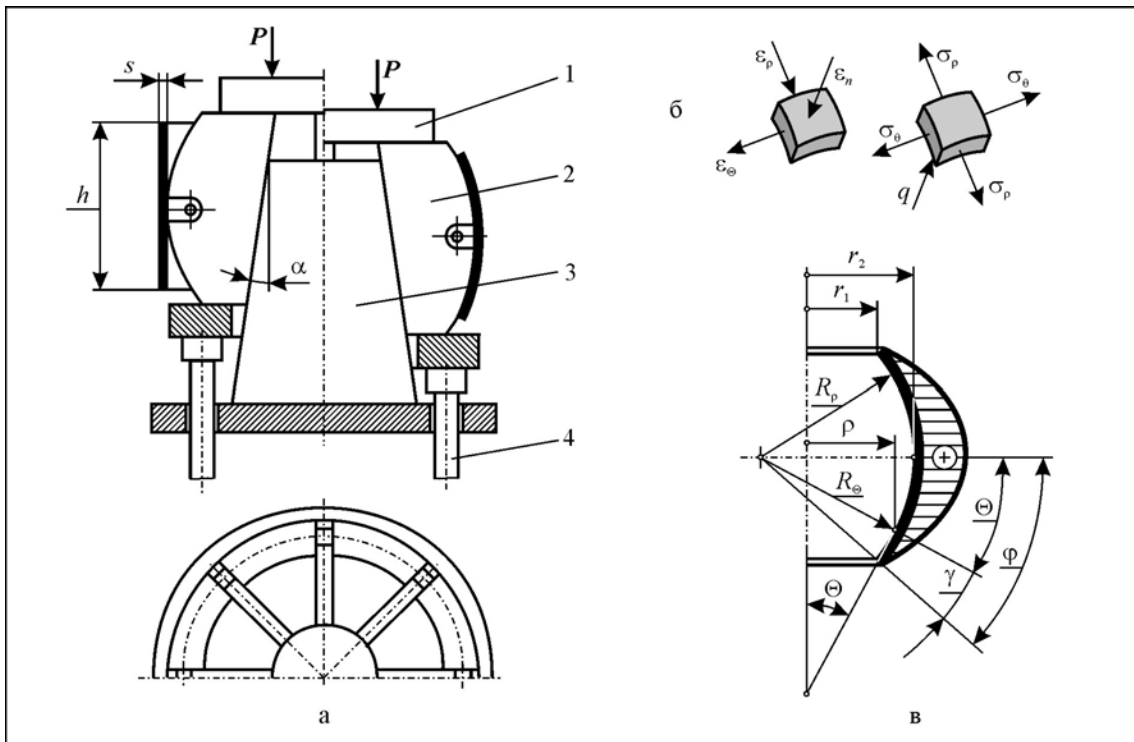


Рис. 3.91. Штмп для кільцевого обтягування (а), механічна схема деформування (б) та епюра розподілу напружень (в): 1 – верхня рухома плита; 2 – розтискний пуансон; 3 – конусна оправка; 4 – штовхач

Кількість секцій може досягати 10...12. Зусилля штампування визначається за формулою:

$$P = 2\pi\beta\sigma_s h s (tg\alpha + \mu). \quad (3.54)$$

Правлення плоских та тороїдальних поверхнь. Ця операція призначена для усунення викривлення форми штампованих деталей, які можуть з'явитися після вирубування, гнуття та інших операцій, або для зменшення радіусів спряження фланця, дна та стінок деталей, що отримані витягуванням, коли потрібний радіус спряження менше ніж мінімально допустимий при витягуванні.

Для правлення плоских деталей та заготовок застосовують спеціальні штампи, робочі органи яких – плоскі плити із вафельною (рис. 3.92, а), гладкою (рис. 3.92, б) та точковою (рис. 3.92, в) поверхнею. Висоту h та крок l точкового штампа приймають рівним товщині металу s . Гладкі плити застосовують для правлення тонких деталей, точкові та вафельні – для більш товстих ($s \geq 2$ мм). При плавленні в точковому штампі на поверхні деталі можуть з'являтися відбитки виступів. Виступи на верхній та нижній плитах повинні бути зміщені на пів кроку відносно один одного, що позитивно для локальної пластичної деформації.

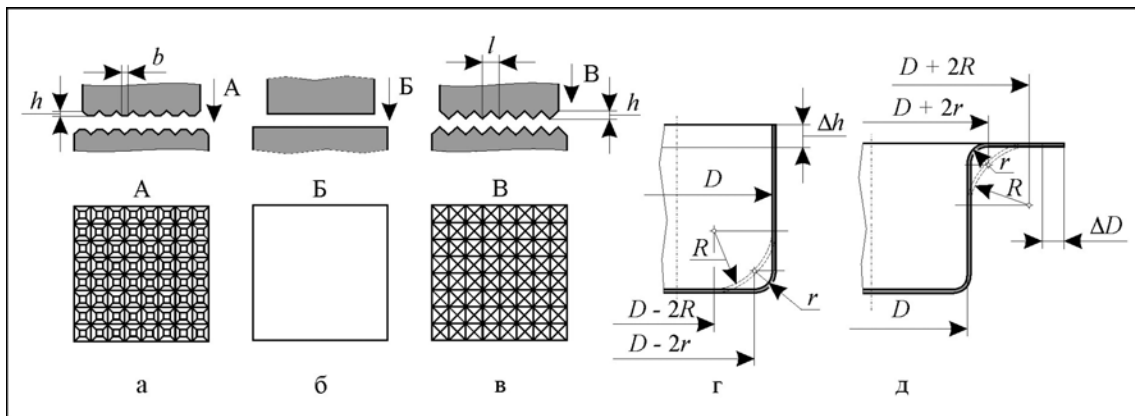


Рис. 3.92. Схеми правлення плоских та тороїдальних поверхнь: а – плоскими плитами з вафельною поверхнею; б – плоскими плитами з гладкою поверхнею; в – плоскими плитами з точковою поверхнею; г – тороїдальними поверхнями інструмента між дном та стінкою заготовки після витягування; д - тороїдальними поверхнями інструмента між стінкою та фланцем заготовки після витягування

Для правлення тороїдальних ділянок заготовок, що отримані витягуванням, застосовують штампи з тороїдальними поверхнями інструмента. При правленні тороїдальної поверхні спряження доної та циліндричної ділянки заготовки відбувається зменшення її висоти на величину Δh (рис. 3.92, г), а при правленні тороїдальної поверхні спряження циліндричної ділянки заготовки та фланця – зменшення зовнішнього діаметра фланцю на величину ΔD (рис. 3.92, д).

Зусилля правлення:

$$P = q \cdot F, \quad (3.55)$$

де q – питоме зусилля, що змінюється від товщини металу та способу правлення в межах від 50 до 300 МПа;

F – площа правлення.

3.6. Загортання, завивання, калібрування

Загортання. Внаслідок загортання на краях порожнистої деталі утворюються закруглені борти (див. рис. 3.6). Розміри вихідної заготовки розраховуються за умовою рівності об'ємів заготовки та деталі. Операція загортання має багато загального з операціями роздавання та обтискування.

Завивання. Внаслідок завивання на кінцях плоскої заготовки або заготовки із дроту утворюються закруглення (див. рис. 3.11). Іноді цю операцію називають торцевим гнуттям шарнірних петель. Процес супроводжується складною пластичною деформацією, що складається з

консольного циліндричного вигину та несиметричного стиснення від сили тертя (гнуття зі стисненням). Замість потоншення спостерігається невелике потовщення та вкорочення заготовки. Нейтральний шар зміщується в бік зовнішньої поверхні (рис. 3.86).

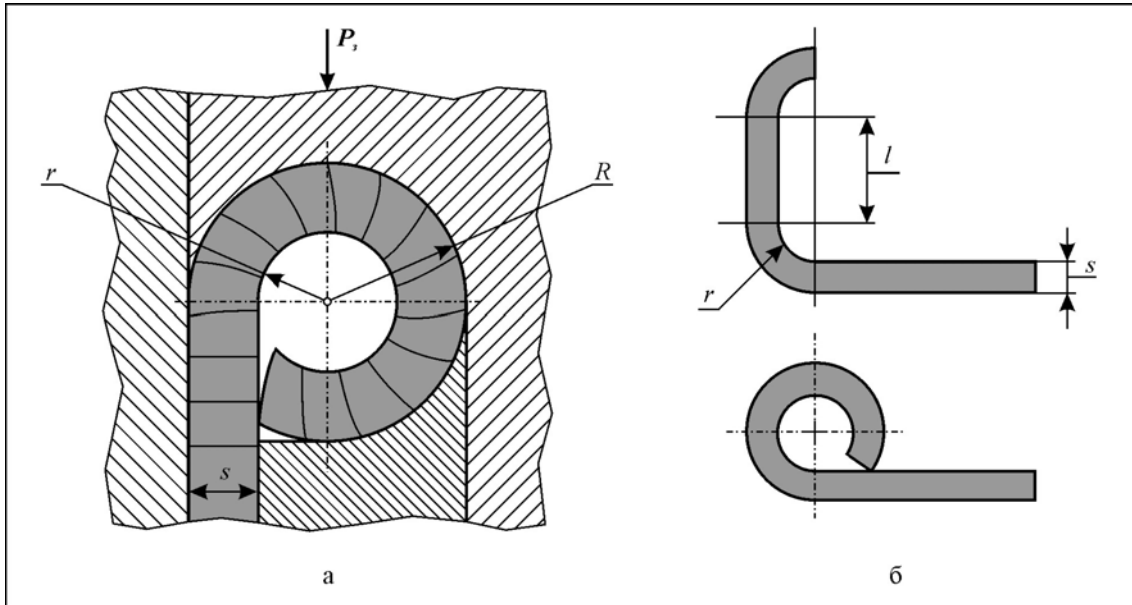


Рис. 3.93. Схеми завивання шарнірних петель: а – за одну операцію; б – за дві операції

Консольний циліндричний вигин має місце лише до співвідношення $R < 3,35s$, до якого не відбувається втрата усталеності заготовки. Тому завивання шарнірних петель звичайно робиться при співвідношенні $R = (2...3,2)s$. При великому діаметрі R завивання слід робити із застосуванням оправки діаметром, що дорівнює внутрішньому діаметру петлі.

При торцевому завиванні плоских заготовок край шарнірної петлі залишається не закругленим. Для усунення цього заготовка повинна мати попередньо підігнуті кромки із закругленням по радіусу на ділянці 90° . Іноді підгинання кромки здійснюється при вирубіванні заготовки. При цьому достатньо мати закруглення на ділянці $45...50^\circ$.

Радіус кривизни нейтрального шару при торцевому завиванні розраховується за формулою:

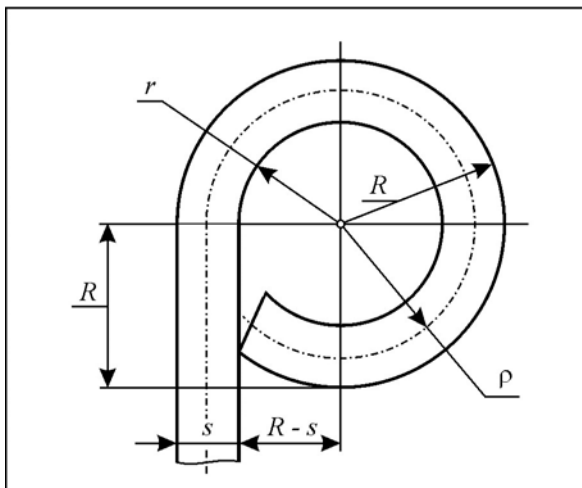
$$\rho = R - yS, \quad (3.56)$$

де y – коефіцієнт, що залежить від відносного радіуса R/S , та визначається за довідником.

Довжину розгортки петлі (рис. 3.94) визначають за формулою, що запропонована Романовським В. П.:

$$L = 1,5\pi\rho + 2R - S. \quad (3.57)$$

Рис. 3.94. До розрахунку довжини розгортки петлі



Калібрування. Мета калібрування: підвищення точності розмірів штампованої заготовки, а також зменшення радіусів закруглень. Калібрування часто суміщають із правленням (рис. 3.95). Воно здійснюється при певних питомих зусиллях, які відповідають пластичній деформації

заготовки. Зусилля калібрування розраховується аналогічно, як і зусилля правлення [див. формулу (3.55)].

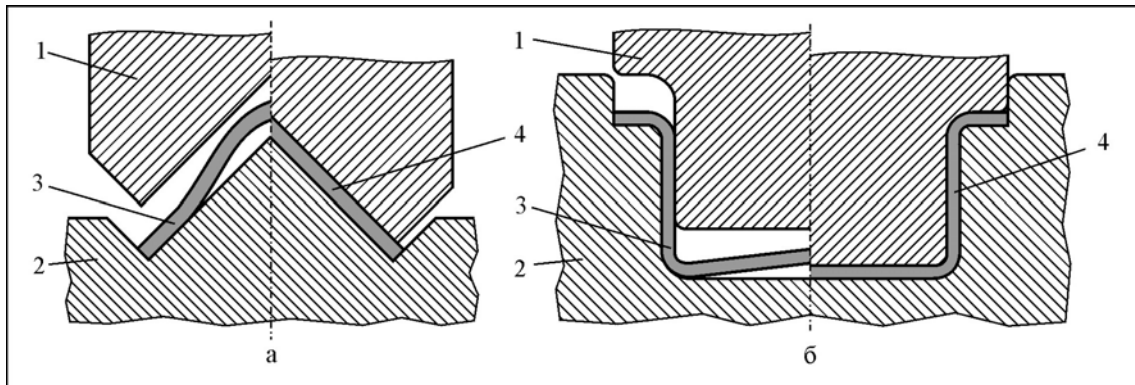


Рис. 3.95. Правлення заготовок з калібруванням полиць: а – після однокутового гнуття; б – після чотирьохкутового гнуття; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – виріб

Розділ 4 ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ

4.1. Способи інтенсифікації формозміни заготовок

Суміщення декількох формозмінних операцій в одному штампі. Основна мета інтенсифікації формозміни заготовок полягає в скороченні тривалості технологічного циклу, і, отже, підвищенню продуктивності праці, скороченню числа зайнятого пресового обладнання й, відповідно, операторів.

Суміщення декількох формозмінних операцій в одному штампі дозволяє зменшити напруження в небезпечному перерізі заготовки, підвищити критичний ступінь деформації та скоротити число переходів, необхідних для отримання деталі. Схеми суміщення витягування, обтискування та роздавання в одному штампі показані на рис. 4.1.

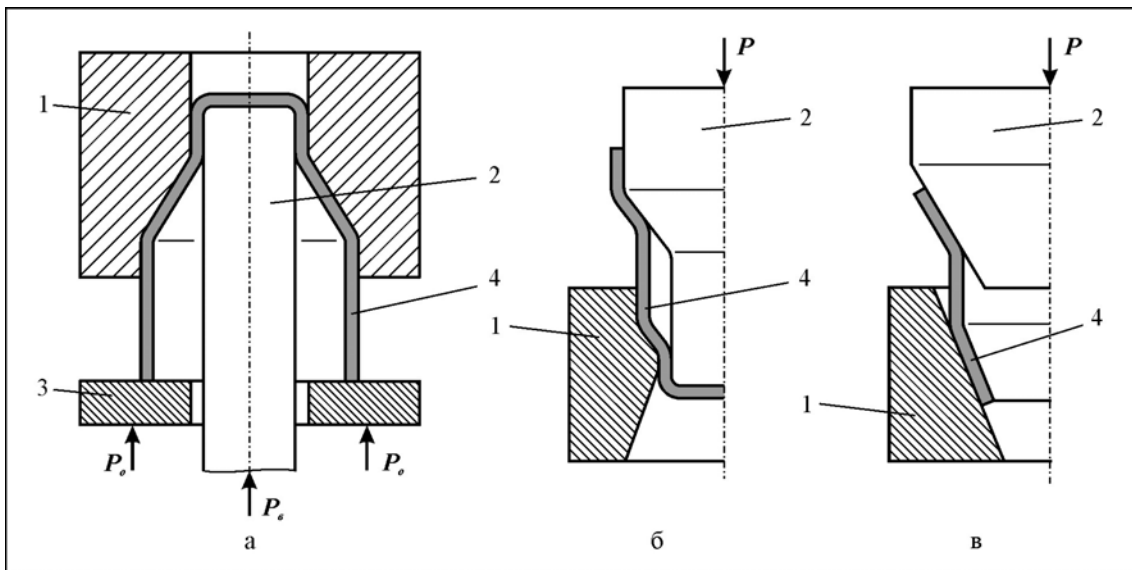


Рис. 4.1. Схеми суміщення операцій в одному штампі: а – витягування та обтискування; б – витягування, обтискування та роздавання; в – роздавання та обтискування; 1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – навантажувач; 4 – заготовка

Аналіз схем показує, що при суміщенні витягування та обтискування (рис. 4.1, а), а також при суміщенні витягування, обтискування та роздавання (рис. 4.1, б) завдяки додатковому зусиллю, що заштовхує заготовку в матрицю, виникають напруження, що стискають та розвантажують небезпечний переріз заготовки та урівноважують в цьому перерізі напруження розтягу, що виникають при витяганні заготовки в матрицю пуансоном.

При цьому утворюються одне загальне або два самостійних вогнища деформації. Епюри розподілу напружень при різному порядку виконання операцій показано на рис. 4.2.

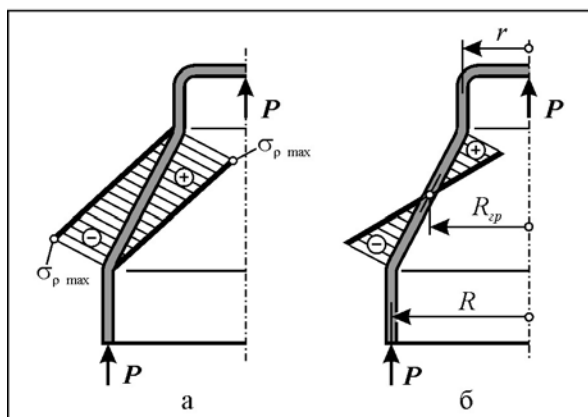


Рис. 4.2. Епюри розподілу напружень: а – при окремому виконанні витягування та обтискування; б – при суміщеному виконанні витягування та обтискування

Додаткова силова дія на заготовку. Найбільшого ефекту від додаткової силової дії на заготовку досягають при виконанні формозмінних операцій холодного штампування, коли у вогнищі пластичної деформації

виникають напруження розтягу. Указане спостерігається при відбортуванні, роздаванні та гнутті на ребро штаби в зоні розтягу. Створення додаткових напружень, що стискають у цих ділянках заготовки підвищує її пластичність і, отже, критичний ступінь деформації. Додаткова силова дія на заготовку за даними І. М. Жвіка може здійснюватися різними способами.

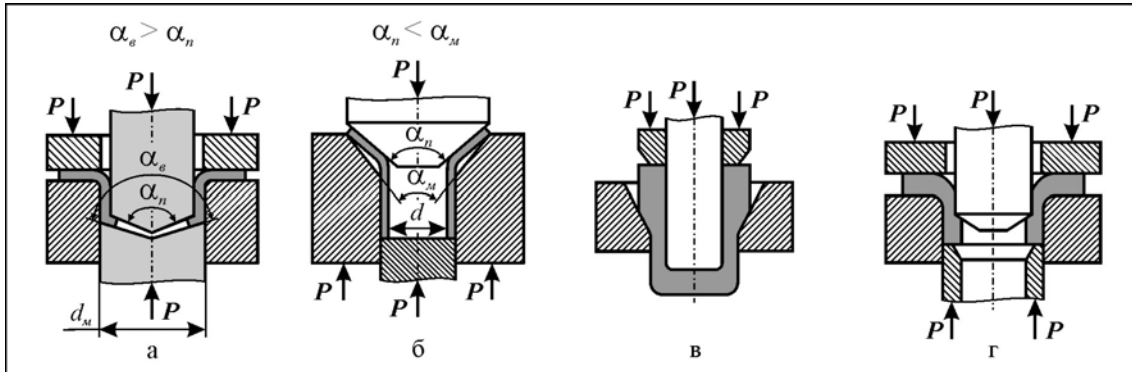


Рис. 4.3. Схема додаткової силової дії на заготовку за І. М. Жвіком при: а – відбортуванні; б – роздаванні; в – витягуванні з потоншенням стінки; г – відбортуванні з потоншенням стінки

Наприклад, при відбортуванні та роздаванні затискають крайову частину заготовки між конічними поверхнями пуансона та виштовхувача (рис. 4.3, а) або пуансона та матриці (рис. 4.3, б), що мають різні кути конусності (різниця їх складає 2...3 °). Защемлення крайової ділянки заготовки при відбортуванні та роздаванні приведе до виникненню контактних дотичних напружень, що стримують розвиток локальних деформацій та підвищують критичний ступінь деформації. При витягуванні з потоншенням додаткова силова дія реалізується через виштовхування заготовки в матрицю (рис. 4.3, в), а при відбортуванні з потоншенням – протитиском через кромку борта (рис. 4.3, г). Крім вище наведених переваг, данні дії щодо інтенсифікації формозміни заготовок зменшують нерівномірність деформації за її висотою, що підвищує точність штампування.

До способів додаткової силової дії на заготовку можна віднести й спосіб поздовжнього стиснення відрізка труби, що знаходиться під дією внутрішнього гідростатичного тиску, який застосовують для отримання вісесиметричних деталей із кільцевим виступом (рис. 4.4, а) та порожнистих деталей з одним або декількома відводами (рис. 4.4, б).

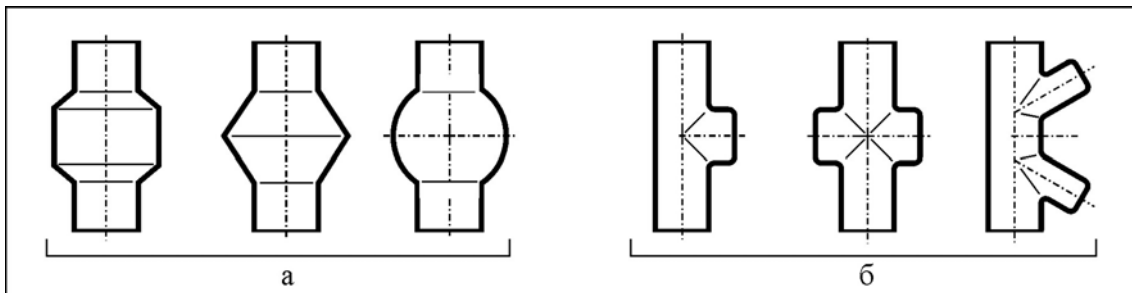


Рис. 4.4. Типові деталі, що отримані гідростатичним тиском з накладанням поздовжнього стиснення

Сутність процесу полягає в тому, що циліндричну заготовку у вигляді відрізка труби зі стінкою товщиною 6...8 мм кладуть у штамп із рознімною матрицею, де її одночасно піддають внутрішньому гідростатичному тиску та осьовому (поздовжньому) стисненню, що створює в зоні пластичної деформації стискаючі напруження. При цьому, за умовою пластичності, окружні напруження, що розтягають, зменшуються, а межовий ступінь деформації збільшується. На рис. 4.5 наведено штамп для виготовлення трійників, що реалізує вище описану ідею.

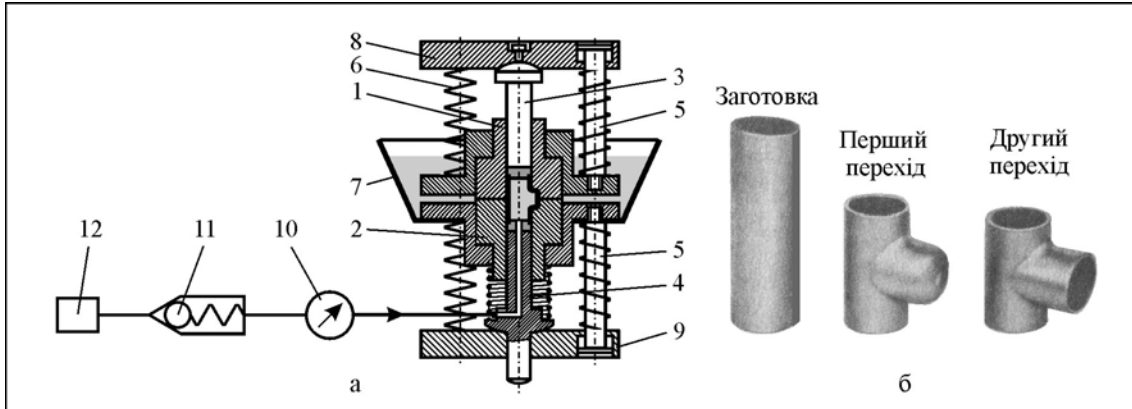


Рис. 4.5. Штамп для виготовлення трійників із трубчастої заготовки (а) та технологічні переходи виготовлення трійника (б): 1 – верхня напівматриця; 2 – нижня напівматриця; 3 – верхній пуансон; нижній пуансон; 4 – нижній пуансон; 5 – ступінчастий гвинт; 6 – пружина стиснення; 7 – ванна з робочою рідиною; 8 – плита верхня; 9 – плита нижня; 10 – манометр; 11 – зворотний клапан; 12 – джерело живлення робочою рідиною

Створення неоднорідного температурного поля в осередку деформації та в зоні передачі зусилля. Сутність способу інтенсифікації формозміни заготовок, оснований на створенні в них неоднорідного температурного поля, можна встановити з умови зберігання міцності (або усталеності) при витягуванні. Ця умова полягає в тому, що найбільше радіальне напруження, що розтягає, не повинно перебільшувати критичне напруження текучості σ_s , при якому відбувається локальна втрата усталеності (поява шийки) у зоні передачі зусилля, а саме в небезпечному перерізі виробу, що витягується. З урахуванням цього, розроблено два способи витягування:

- з локальним нагріванням зони пластичної деформації (із метою зменшення σ_s в цій зоні), рис. 4.6;
- з локальним охолодженням зони передачі зусилля (із метою збільшення σ_e в цій ділянці), рис. 4.7.

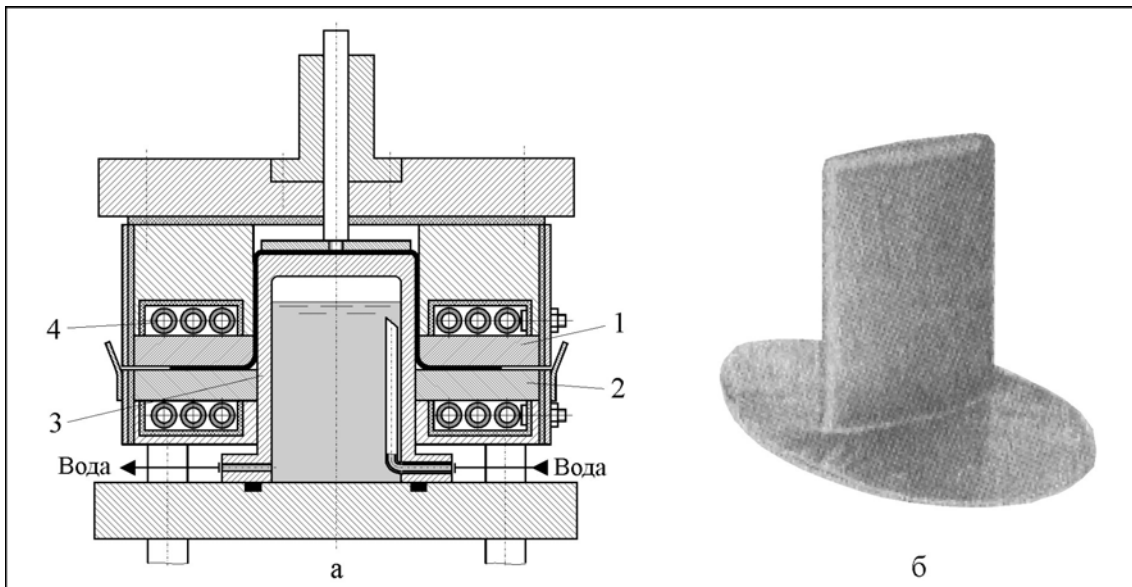


Рис. 4.6. Схема штампа для витягування з нагріванням зони пластичної деформації (фланця): а – схема; б – деталь після витягування; 1 – матриця; 2 – притискне кільце; 3 – пуансон; 4 – електронагрівач

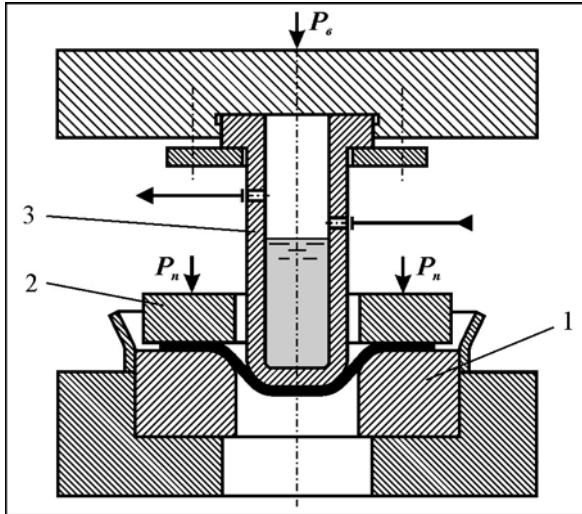
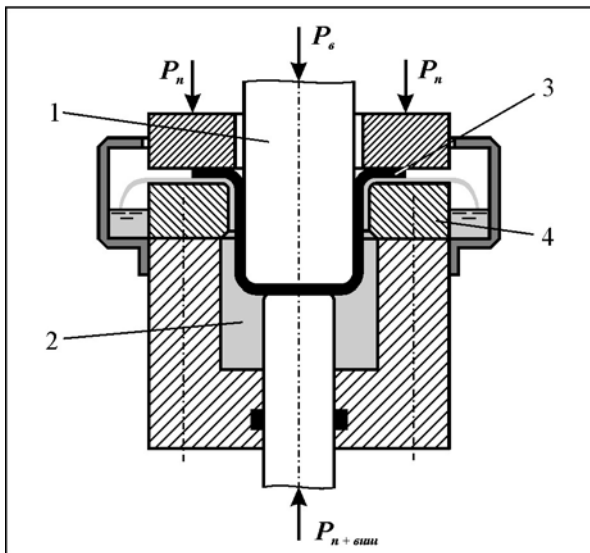


Рис. 4.7. Схема штампа для витягування з глибоким охолодженням небезпечного перерізу деталі (до -180°C)

Зниження реактивних та підвищення розвантажувальних сил тертя при витягуванні. При витягуванні на контактній поверхні заготовки та матриці виникають сили тертя F_1 , F_2 та F_3 (рис. 3.103), що перевищують при коефіцієнті тертя $\mu = 0,25 \dots 0,30$ (без мастильного матеріалу) зусилля пластичною формозміни. Співвідношення значень указаних сил тертя наступне: $F_1 = 75\%$, $F_2 = 20\%$ та $F_3 = 5\%$ (за Е. І. Ісаченком). Внаслідок дії цих сил відбувається збільшення напружень, що розтягають, у небезпечному перерізі деталі, що

витягується. Це може привести до потоншення стінки, а отже, до відриву дна. Саме тому прагнуть зменшити ці сили тертя, шляхом змазування поверхонь заготовки та матриці, шліфування та полірування поверхонь матриці. Тільки сила F_3 є корисною: вона перерозподіляє напруження в небезпечному перерізі, зменшує їх, чим вона більше, тим потоншення стінки менше.



З урахування вище викладеного, розроблено новий спосіб гідромеханічного витягування (ГМВ), сутність якого полягає в тому, що формозміну заготовки здійснюють жорстким пуансоном 1 у порожнині штампа (камері 2), яка заповнена рідиною (водою або маслом), рис. 4.8. У процесі штампування тиск зростає, і рідина починає витікати в круговий зазор між фланцем 3 заготовки та матрицею 4. При цьому реактивні сили тертя суттєво зменшуються.

Рис. 4.8. Схема штампа для гідродинамічного витягування: 1 – пуансон; 2 – камера; 3 – фланець заготовки; 4 – матриця

Пульсуюче витягування. Пульсуюче витягування здійснюють у штампі із притискним кільцем 1, що робить коливальні (пульсуючі) рухи вздовж осі штампування. У цих умовах спочатку відбувається витягування без притиску заготовки з виникненням складок (гофрів, рис. 4.9, а), а далі правлення фланця притискним кільцем (рис. 4.9, б). При цьому напруження в небезпечному перерізі заготовки, що розтягають, зменшуються.

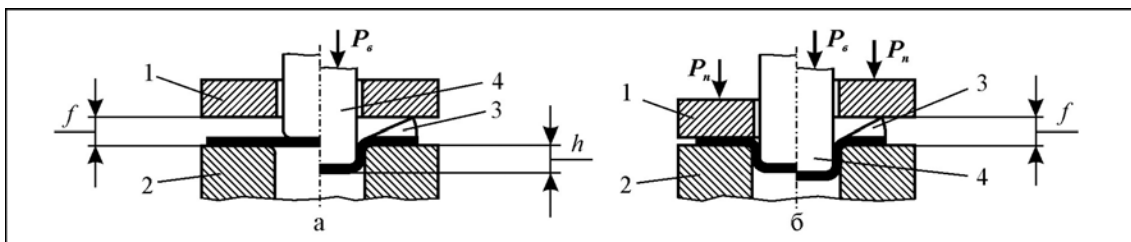


Рис. 4.9. Фази процесу пульсуючого витягування: а – фаза витягування без притиску фланця; б – фаза правлення складок на фланці; 1 – притискне кільце; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – пуансон

Локалізація вогнища деформації. У виробництві використовують різні способи пластичної формозміни металу, сутність яких полягає в тому, що деформуючий інструмент контактує із заготовкою лише на невеликій (локальній) ділянці, що створює вогнище пластичної деформації, яке безперервно переміщується за заданою траєкторією. При цьому суттєво зменшується сила деформування, реактивні сили тертя, підвищується стійкість інструмента, спрощується його конструкція, що дає можливість виробництва великої номенклатури деталей при малих витратах коштів на виготовлення оснащення.

До числа способів ротаційної обробки металу відносять:

- ротаційне витягування (рис. 4.10, а, б);
- сферорухове штампування (рис. 4.10, в);
- торцеве (рис. 4.10, г, д) та кільцеве розкочування порожнистих заготовок;
- накатування зубів шестерень;
- накатування різьби та шліців тощо.

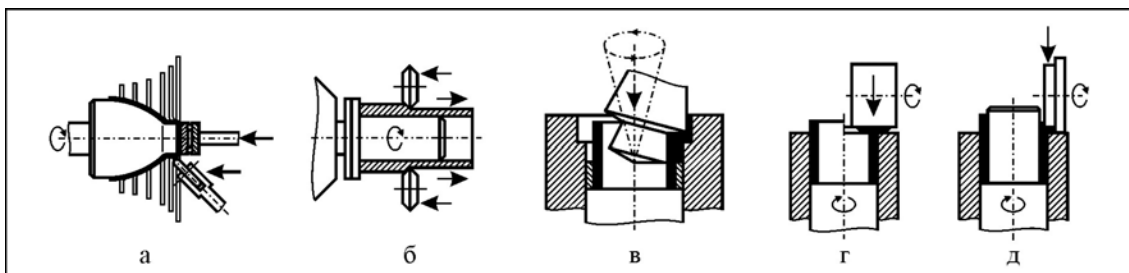


Рис. 4.10. Схеми процесів з локальним деформуванням: а, б – ротаційне витягування; в – сферо рухоме штампування; г, д – торцеве розкочування

Типові деталі, що отримано ротаційною обробкою, показано на рис. 4.11.

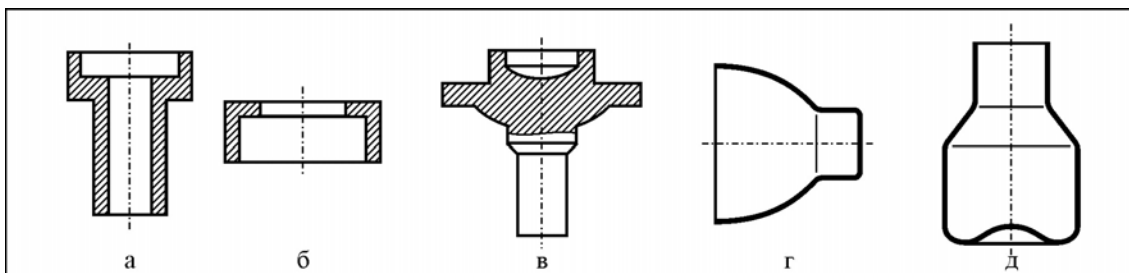


Рис. 4.11. Деталі, що отримані локальним деформуванням: а, б – торцевим розкочуванням; в – сфероруховим штампуванням; г, д – ротаційним витягуванням

4.2. Імпульсні види листового штампування

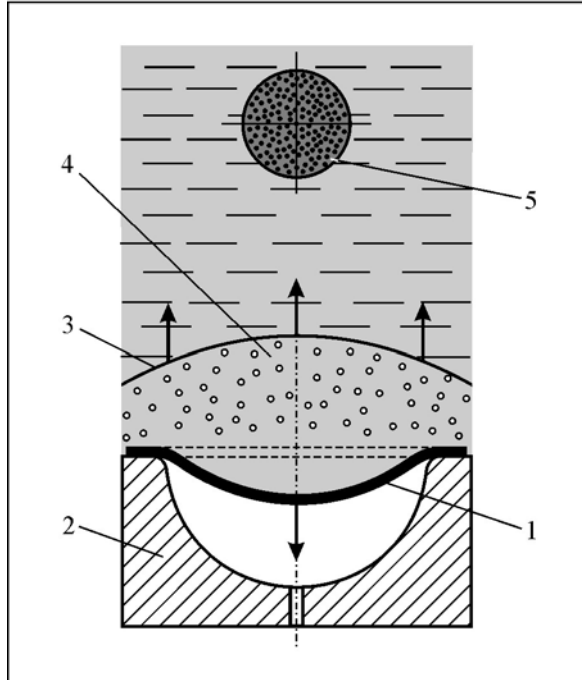
Штампування вибухом. До числа імпульсних способів штампування відносяться:

- штампування вибухом;
- штампування електричним розрядом у рідині (електрогідравлічне штампування);
- штампування силовою дією імпульсного магнітного поля.

Оснащення для імпульсного штампування частково універсально, штампування ведуть по жорсткій матриці (пуансон відсутній). При імпульсному штампуванні зовнішні сили (тиск) діють на заготовку протягом вельми коротких проміжків часу (долі мілісекунд), у зв'язку із чим потужність імпульсу дуже висока. Імпульсний характер прикладання зовнішніх сил приводе до того, що пластична формозміна заготовки продовжується й після завершення дії імпульсу. Це пояснюється результатом діє інерційних сил, що виникають у процесі дії імпульсу. Високошвидкісний, імпульсний характер прикладання навантаження до заготовки, що обробляється, суттєво поліпшує умови деформування: підвищується температура вогнища деформації, виникають корисні сили інерції, зменшуються сили тертя, локалізується вогнище деформації. Усе це знижує зусилля деформування та покращує якість штампованих деталей. Крім того, металоемність застосованих установок дуже мала, порівняно з металоемністю верстатів та пресового обладнання.

У сучасному машинобудуванні є проблемою штампування великобагаритних деталей із важкооброблюваних матеріалів.

Спосіб штампування вибухом запропонував в 1949 році Р. В. Піхтовніков (Харківський авіаційний інститут). При штампуванні вибухом на заготовку діє енергія вибухової хвилі, що передається через повітря або рідину. Внаслідок цього заготовка пластично деформується та



набирає форми порожнини матриці, на яку вона встановлена. Енергія заряду ВВ у воді розподіляється між ударною хвилею та газовим пузирем, що утворився при вибуху. Ударна хвиля після досягнення заготовки починає пластично деформувати її, і передає їй тільки частину своєї енергії. Залишкова частина енергії відбивається від поверхні заготовки, та ударна хвиля починає рухатися в зворотному напрямку. Зміна напрямку руху ударної хвилі викликає появу області кавітації (місцеve закипання рідини), у якій виникає велика кількість бульбашок повітря та пустот (рис. 4.12).

Рис. 4.12. Схема передачі заготовці енергії вибуху: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – відбита ударна хвиля; 4 – область кавітації; 5 – газовий пузир

Об'єм, що знаходиться в стані кавітації, володіє певною енергією, яка частково передається заготовці, сприяє її подальшій пластичній формозміні. Газовий пузир розширюється під дією газоподібних продуктів вибуху, викликає переміщення рідини, створює радіально спрямований потік, який також сприяє формозміні заготовки. Для штампування вибухом застосовують як повільно діючі (метательні), так і швидко діючі (бризантні) вибухові речовини. До повільно діючих ВВ відносяться порохи, суміші горючих газів тощо. До швидкодіючих ВВ – тротил, аміачна селітра, їхні суміші (амоніт) тощо.

Для вибухового штампування створюються установки двох видів: установки-штампи та установки машини-знаряддя.

Установки-штампи підрозділяються на стаціонарні, басейного типу та нестационарні (наземні).

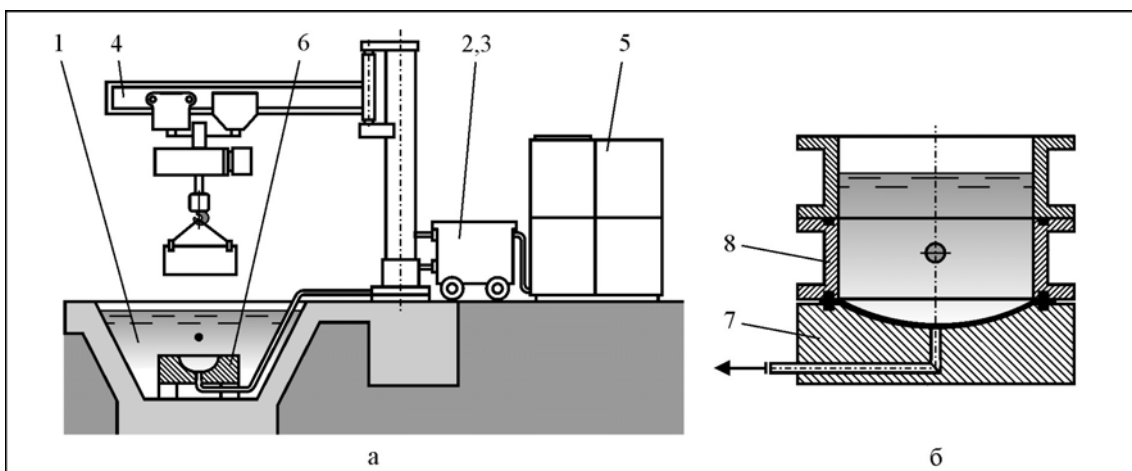
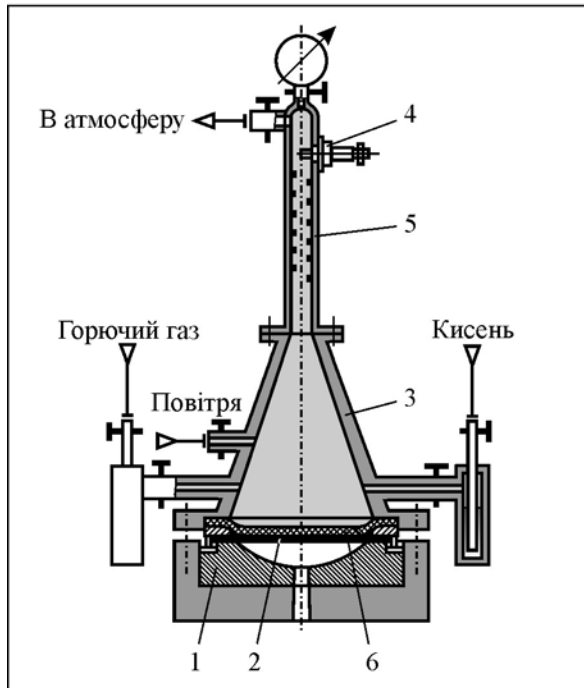


Рис. 4.13. Схема стаціонарної установки для штампування деталей великих розмірів (а) та схема нестационарної установки для штампування деталей середніх розмірів (б)

Для штампування великогабаритних деталей діаметром 3000 мм та більше застосовують стаціонарні установки басейного типу (рис. 4.13, а), де:

- 1 – басейн (залізобетонний колодезь з водою);
- 2 – вакуумна станція для відсмоктування повітря з робочої порожнини матриці;
- 3 – водонасосна станція для заповнення басейну водою, а також для вивільнення басейну від води;



- 4 – піднімальний кран;
- 5 – запасний резервуар для води;
- 6 – матриця із заготовкою.

Наземні нестационарні установки напівзакритого типу (рис. 4.13, б) застосовують для штампування деталей середніх розмірів, де:

- 7 – матриця;
- 8 – труба з водою.

Існують установки для штампування вибухом газових сумішей (рис. 4.14), де:

- 1 – матриця;
- 2 – заготовка;
- 3 – камера згорання;
- 4 – запальний устрій;
- 5 – запальна камера;
- 6 – ущільнення.

Рис. 4.14. Схема установки для штампування вибухом

Електрогідрімппульсне штампування. Сутність електрогідро-імпульсного штампування (ЕГШ) полягає в тому, що на заготовку, яку встановлено на матриці, діє ударна хвиля, що отримала прискорення від розряду електричної дуги в рідині. При цьому потужний імпульс енергії перетворюється в енергію механічну, яка викликає пластичну формозміну заготовки. Принципова схема установки показана на рис. 4.15.

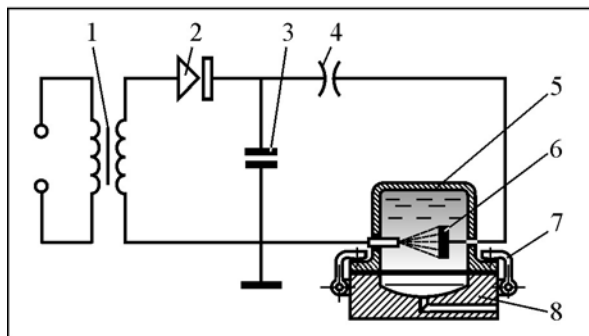


Рис. 4.15. Принципова схема установки ЕГШ:

- 1 – трансформатор, що підвищує;
- 2 – високовольтний випрямляч;
- 3 – конденсаторна батарея;
- 4 – розрядник;
- 5 – камера з водою;
- 6 – робочі електроди;
- 7 – притискний устрій;
- 8 – матриця

Внаслідок розряду в каналі утворюється плазма, температура якої досягає $4 \cdot 10^4$ °К. Під час миттєвого розширення каналу розряду в рідині виникає ударна хвиля, що діє на заготовку тиском порядку 100...140 ГПа. По сутності та характеру протікання – це електричний вибух, який здатний деформувати та руйнувати різні метали.

В області застосування електроіскрового розряду в рідині для пластичної формозміни металів (рис. 4.16) пріоритет відкриття належить Л. А. Юткіну та його школі (1955 р.).

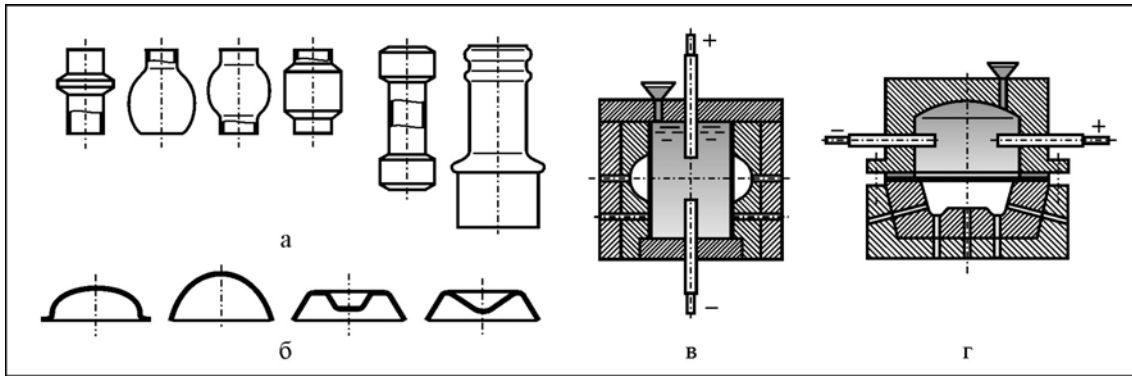


Рис. 4.16. Типові деталі, що отримані ЕГШ із трубчастої (а) та плоскої (б) заготовок, схеми технологічних блоків для штампування із трубчастої (в) та плоскої (г) заготовок

Штампування імпульсом магнітного поля. Сутність штампування імпульсом магнітного поля (ІМП) полягає у використанні електромеханічних сил, що виникають внаслідок взаємодії магнітних полів індуктора та заготовки, які відштовхуються між собою з високою швидкістю у вельми короткий проміжок часу.

В установці для штампування ІМП (рис. 4.17) технологічний блок складається із матриці (або пуансона) та індуктора, який, в залежності від виду технологічної операції і форми заготовки може бути плоским (якщо заготовка плоска) або у вигляді соленоїду (якщо заготовка трубчаста).

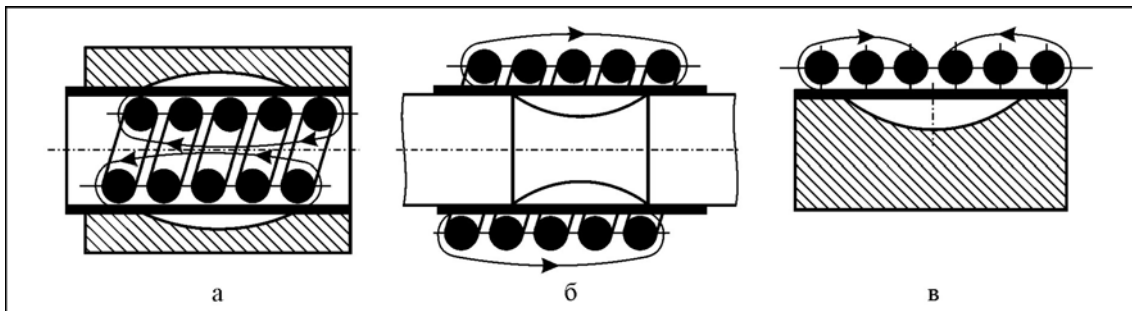


Рис. 4.17. Схеми установок для штампування ІМП: а – роздаванням; б – обтискуванням; в – витягуванням

При розряді конденсаторної батареї на індуктор біля нього виникає магнітне поле великої потужності, що наводить вихрові струми в заготовці. Взаємодія магнітних полів індуктора та заготовки створює механічну силу, яка здатна деформувати заготовку за матрицею (рис. 3.112, а, в) або за пуансоном (рис. 3.112, б). Сила взаємодії магнітних полів пропорційна енергії, накопиченої в батареї конденсаторів. Розряд протікає миттєво (40...50 мкс), при цьому заготовка отримує прискорення, і розвиває до моменту контакту з інструментом швидкість до 200...300 м/с, а тиск на заготовку сягає $2 \cdot 10^6$ ГПа та більше.

Метали з високою електропровідністю – мідь, алюміній, латунь та ін. краще деформуються ІМП, ніж метали з низькою електропровідністю – сталь, титан та ін. Операції, що виконуються методом штампування ІМП показано на рис. 4.18.

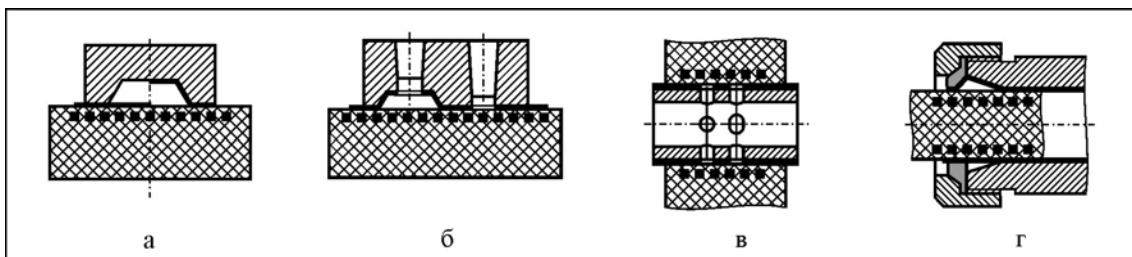


Рис. 4.18. Операції штампування ІМП: а – витягування; б, в – пробивання; складання

4.3. Комбіновані та складальні операції

Комбіновані операції. З метою зменшення кількості штампів для штампування певної деталі, декілька операцій виконують в одному штампі. Такі операції називають комбіновані, а штампи, на яких вони реалізуються, – штампами складної дії. Комбінуються практично всі види операцій холодного штампування:

- розділові з розділовими;
- розділові з формозмінними;
- формозмінні з формозмінними.

У відповідності із цим розрізняють наступні типи штампів:

- *послідовної дії*, у яких послідовно реалізуються дві й більше операцій. Наприклад, штамп послідовної дії для пробивання, вирубування деталі «Шайба» (див. рис. 2.33); штамп послідовної дії для вирубування, витягування деталі «Тарілka». Схема штампa послідовної дії наведено на рис. 2.34, а;

- *суміщеної дії*, у яких одночасно (за один хід пресу) реалізуються дві й більше операцій. Наприклад, штамп суміщеної дії для пробивання, вирубування деталі «Шайба»; штамп суміщеної дії для вирубування, витягування деталі «Тарілka». Приклад штампa суміщеної дії наведено на рис. 2.34, б;

- *послідовно-суміщеної дії*, у яких частина операцій реалізується послідовно, а частина – одночасно (рис. 4.19).

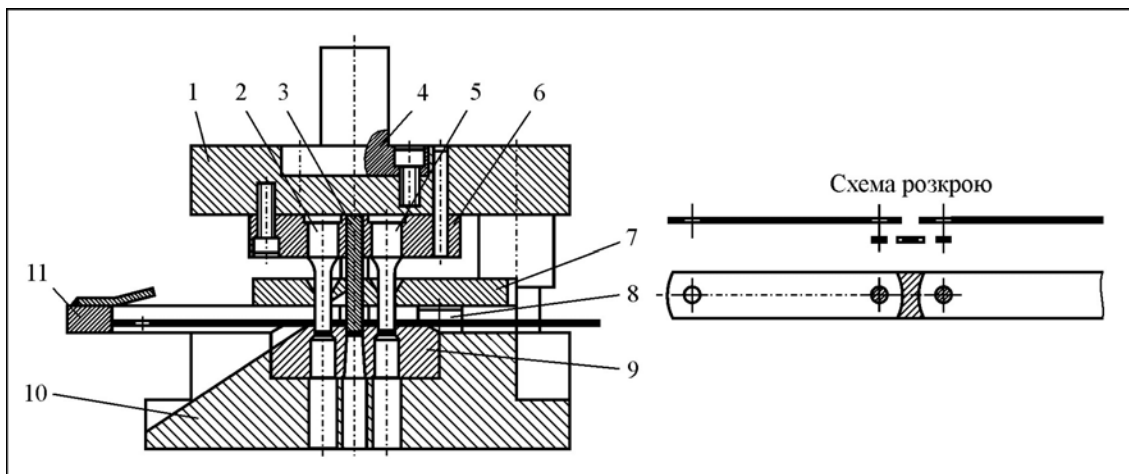


Рис. 4.19. Штамп послідовно-суміщеної дії: 1 – верхня плита; 2, 5 – пробивні пуансони; 3 – ніж; 4 – хвостовик з фланцем; 6 – тримач; 7 – жорсткий знімач; 8 – притискач; 9 – ніж-матриця; 10 – нижня плита; 11 – планка-упор

Складальні операції. Складання деталей може здійснюватися в штампах із використанням деяких розділових і формозмінних операцій листового штампування та певних операцій холодного, і гарячого об'ємного штампування. Наприклад:

- складання гнуттям (рис. 4.20, 4.21);

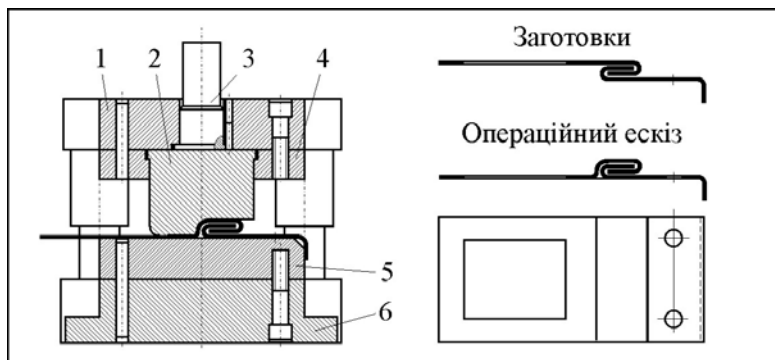


Рис. 4.20. Штамп для складання гнуттям:

- 1 – верхня плита;
- 2 – пуансон;
- 3 – хвостовик;
- 4 – пуансонотримач;
- 5 – матриця;
- 6 – нижня плита

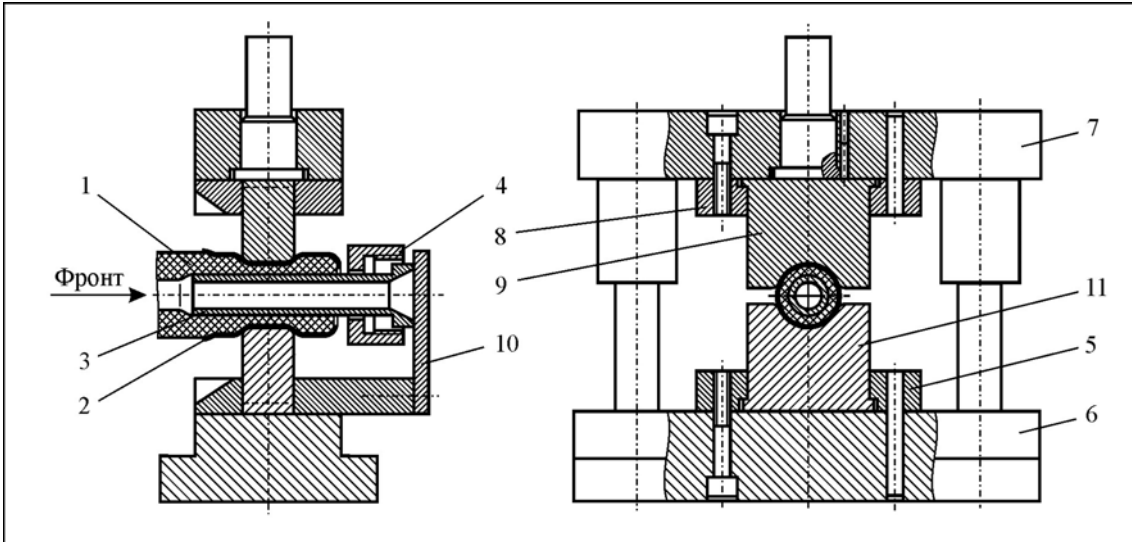


Рис. 4.21. Штмп для складання (запакування) складним гнуттям металевої частини кінця рукава високого тиску з неметалевою: 1 – рукав; 2 – бандажна втулка; 3 – ніпель; 4 – накидна гайка; 5, 8 – пуансонотримачі; 6 – нижня плита; 7 – верхня плита; 9, 11 – пуансони; 10 – упор

- складання загортанням (рис. 4.22);

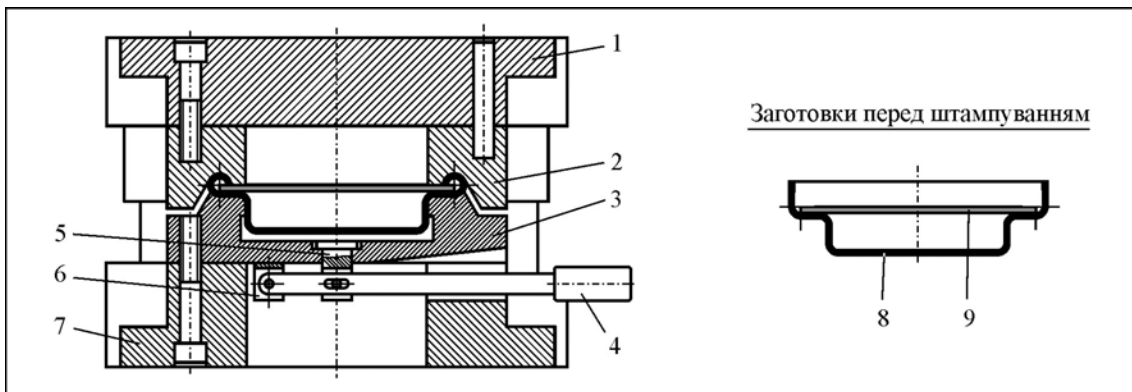


Рис. 4.22. Штмп для складання двох деталей загортанням: 1 – верхня плита; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – рукоятка; 5 – виштовхувач; 6 – кронштейн; 7 – нижня плита; 8 – сміть; 9 – диск

- складання обтискуванням (рис. 4.23);

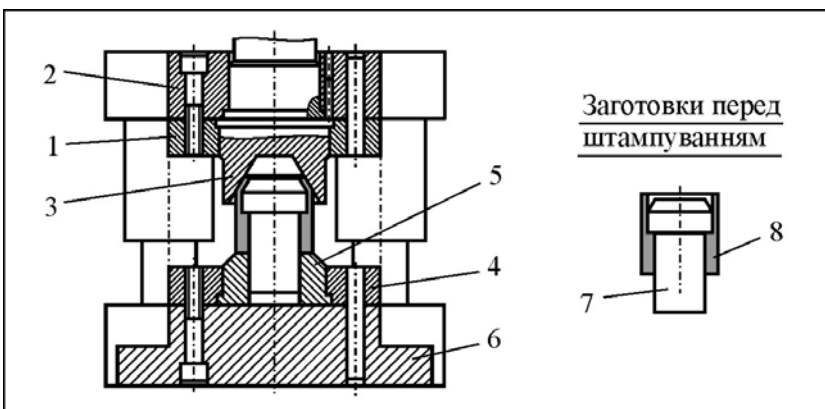


Рис. 4.23. Штмп для складання обойми зі стрижнем обтискуванням:

1, 4 – тримачі;
2 – верхня плита;
3 – матриця;
5 – фіксатор;
6 – нижня плита;
7 – стрижень;
8 – обойма

- складання правленням (рис. 4.24);

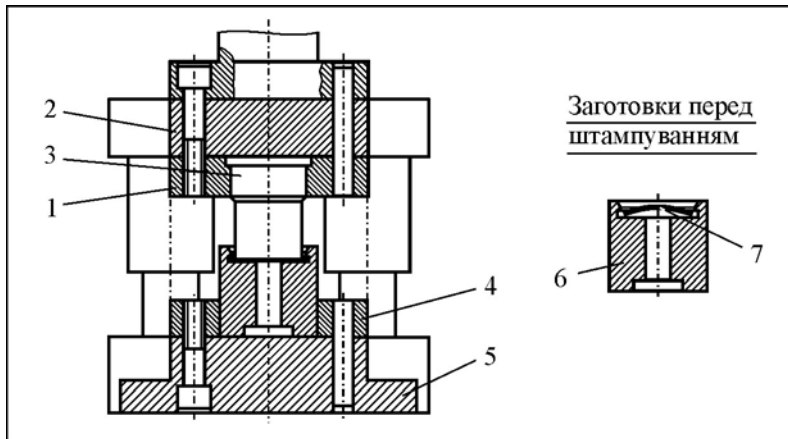


Рис. 4.24. Штмп для складання втулки з кришкою правленням:
1 – пуансонотримач;
2 – верхня плита;
3 – пуансон;
4 – обойма;
5 – нижня плита;
6 – втулка;
7 – кришка

- складання карбуванням. Наприклад, складання сепаратора з кульками;
- складання висаджуванням (рис. 3.112).

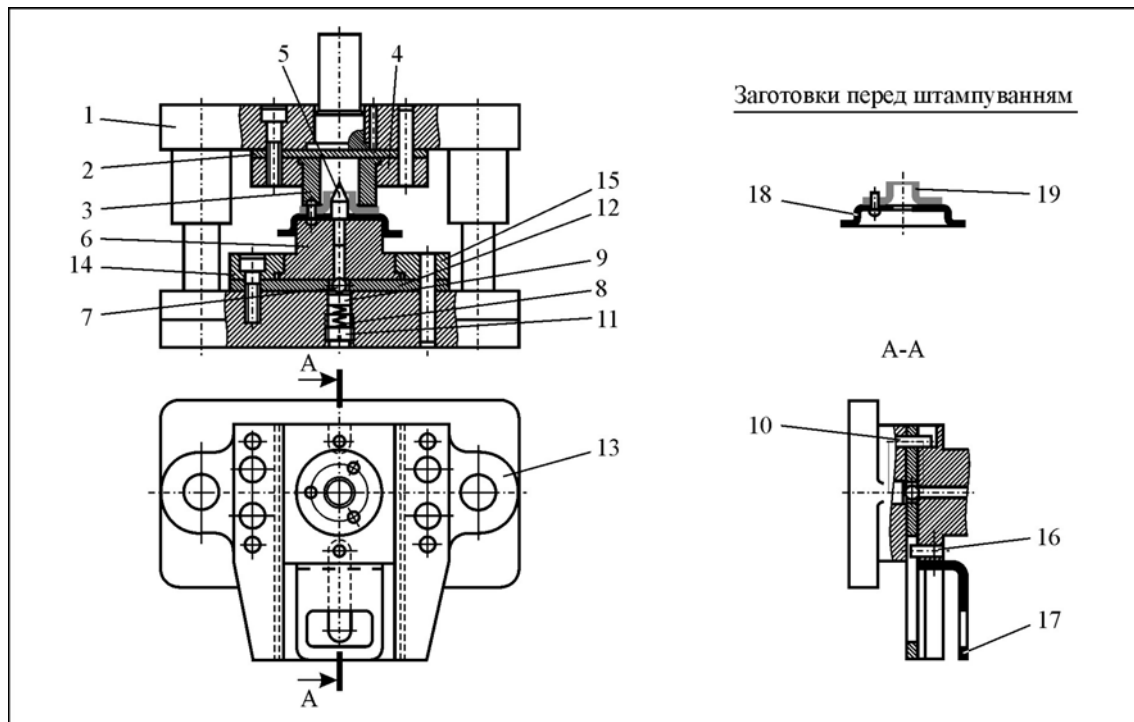


Рис. 4.25. Штмп для складання двох порожнистих деталей трьома заклепками за допомогою операції висаджування: 1 – верхня плита; 2 – підкладна плита; 3 – верхня матриця; 4 – тримач; 5 – упор; 6 – нижня матриця-упор; 7 – кулька; 8 – пружина; 9 – притискач; 10 – штифт-упор; 11 – гвинт, що регулює; 12 – підкладна плита; 13 – нижня плита; 14 – планка ліва; 15 – планка права; 16 – штифт-упор; 17 – ручка; 18 – перша порожниста деталь; 19 – друга порожниста деталь

4.4. Загальні відомості про САПР технологічних процесів листового штампування

Аналіз питань проектування та розрахунку технологічного процесу. Проектування та розрахунок технологічного процесу передбачає:

- аналіз технологічності деталі;

- вивчення механічних властивостей вихідного металу, а також оцінку його штампованості;
- аналіз можливих варіантів виготовлення деталі та вибір оптимального, економічно доцільного;
- визначення розмірів та форми заготовки;
- розкрій матеріалу (листа, штаби, стрічки) з метою підвищення до максимально можливого рівня коефіцієнта використання матеріалу;
- розробку та розрахунок параметрів вибраного варіанту технологічного процесу, визначення зусиль штампування;
- вибір та призначення додаткових та оздоблювальних операцій;
- вибір пресового обладнання та засобів автоматизації;
- вибір схем організації робочих місць, що забезпечують найбільшу продуктивність праці при дотриманні правил техніки безпеки;
- поопераційне нормування з метою встановлення технічно обґрунтованих норм виробітку;
- складання калькуляції собівартості готової деталі або напівфабрикату, що є критерієм ефективності спроектованого технологічного процесу.

Для виконання обчислювальних робіт, що потребують великих затрат часу, особливо при багатоваріантних розрахунках, останні виконують за допомогою *системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП)*, яка дозволяє суттєво знизити трудомісткість обчислювальної роботи. Автоматизоване проектування дозволяє також перетворити сферу діяльності технолога, шляхом відкриття широкої перспективи використання *персональних комп'ютерів*. Програмне забезпечення будується за *модульним принципом*.

САПР КОМПАС-ШТАМП. Серед існуючих САПР «середнього класу» щодо проектування штампів в листоштампувальному виробництві помітно виділяється САПР КОМПАС-ШТАМП.

Система автоматизованого проектування штампів (система КОМПАС-ШТАМП) розроблена РУП "СКТБ Автоматизації Технологічних Процесів" (Білорусь, м. Мінськ). САПР штампів КОМПАС-ШТАМП орієнтована на проектування штампів різних конструкцій для різноманітних операцій холодного листового штампування (вирубання, пробивання, відрізування, гнуття, відбортування, формування та інших). Система не має обмежень ні на операції холодного листового штампування, для яких проектуються штампи, ні на конструкції штампів. При цьому рівень автоматизації проектування штампів може коливатися в значних межах. Найбільший рівень автоматизації, що забезпечує скорочення строків проектування в 5 - 6 разів, досягається при проектуванні розділових штампів простої, послідовної й сполученої дії, не складних штампів для гнуття, відбортування та формування.

Система КОМПАС-ШТАМП базується на креслярсько-конструкторській системі КОМПАС-ГРАФІК. Вибір системи КОМПАС-ГРАФІК у якості базового графічного інструмента системи КОМПАС-ШТАМП обумовлена високими експлуатаційними показниками цієї системи - повна підтримка ЕСКД; сучасний віконний інтерфейс, велика різноманітність операцій створення й редагування креслень; можливість одночасної роботи з декількома документами; можливість швидкого й зручного одержання довідки щодо будь-якої операції або функції системи.

У системі КОМПАС-ШТАМП система КОМПАС-ГРАФІК забезпечує відтворення, візуалізацію, редагування й документування графічної інформації як при підготовці вихідної інформації про деталь, що штампується, так і в процесі інтерактивного проектування штампа й оформлення повного комплексу креслень.

Крім того, система КОМПАС-ГРАФІК забезпечує можливість обміну кресленнями деталей, що штамнуються або деталей штампа з іншими системами автоматизованого проектування (за допомогою форматів обміну DXF, DWG, IGES і т.п.). Так, наприклад, КОМПАС-ШТАМП може інтегруватися із системою підготовки керуючих програм GEMMA 3D або із системами тривимірного моделювання (UNIGRAPHICS, PRO/ENGINEER, SolidWorks і т.д.), що дозволяє ефективно використати ресурс дорогих програмних засобів, закріпивши за ними функції підготовки керуючих програм і інженерного аналізу технологічних процесів штампування (витягування, формування), а функції проектування конструкції й виготовлення комплексу креслень штампа передати системі КОМПАС-ШТАМП.

Система КОМПАС-ШТАМП - високоефективний інструмент для фахівця із проектування штампів, що дозволяє звільнити конструктора від рутинної роботи із креслення креслень,

визволити його для рішення інтелектуальних завдань проектування. КОМПАС-ШТАМП - явно виражена система інтерактивного проектування, що дозволяє конструктору не тільки контролювати значення розрахункових параметрів, вибирати раціональні рішення із числа можливою, пропонованою системою, але й управляти всім процесом автоматизованого проектування. Модульна структура програмного й інформаційного забезпечення системи в сполученні з розвиненими діалогами дозволяють конструктору в процесі проектування самостійно підбирати набір програмних і інформаційних засобів, що адекватні завданню проектування кожного конкретного штампа. При цьому конструктору ніяких спеціальних знань з області програмування не потрібно. Він користується звичною для нього термінологією текстових діалогів, легко пізнаваними графічними зображеннями слайдових меню, звичною формою табличних даних.

Процес проектування штамтів у середовищі системи КОМПАС-ШТАМП складається з наступних етапів:

- формування «дерева проекту» штампа;
- проектування й формування комплексу креслень штампа;
- формування специфікації.

«Дерево проекту» відбиває номенклатурний склад і конструктивні особливості елементів, що утворюють конструкцію штампа, і перелік самостійних проектних процедур (завдань), що підлягають реалізації в процесі проектування (побудова ескізів, проектування робочої зони, вибір преса тощо). Як елементи конструкції штампа можуть виступати складальні одиниці (блок, пакет штампа), технологічні системи (система кріплення, система фіксації заготовки при штампуванні, система виштовхування готових деталей із робочої зони штампа тощо), деталі штампа (пуансони, пуансони-матриці, хвостовики тощо). Конструктор послідовно нарощує «дерево проекту» створюючи додаткові вузли (вершини), що відповідають елементам конструкції або завданням проектування, які він вибирає зі списків припустимих варіантів, що запропоновані системою.

Кожному вузлу «дерева проекту» відповідає бібліотека проектування, що забезпечує проектування певного елемента конструкції штампа або рішення відповідного завдання. При звертанні до вузла «дерева проекту» відбувається автоматичне завантаження КОМПАС-ГРАФІК і підключення відповідної бібліотеки.

Уся інформація, отримана від конструктора або розроблена програмним шляхом, а також креслення й фрагменти, сформовані в процесі проектування, накопичуються в папці «Проект», якій конструктор привласнює оригінальне ім'я на ранній стадії проектування.

При необхідності, у папці «Проект» конструктор може переглядати, редагувати або виводити на паперові або магнітні носії креслення штампа, користуючись засобами системи КОМПАС-ГРАФІК.

Проектування й формування комплексу креслень штампа забезпечується в результаті послідовного відпрацювання бібліотек проектування. Уся проміжна інформація, фрагменти й креслення, накопичені при реалізації бібліотек у папці «Проект», використовуються іншими бібліотеками в міру необхідності. При проектуванні складального креслення штампа в папці «Проект» накопичується інформація, необхідна й достатня для оформлення робочих креслень деталей штампа.

Користуючись принципом «дитячого конструктора» користувач може зібрати креслення штампа будь-якої конструкції, що складається з елементів конструкцій штамтів, які є в системі КОМПАС-ШТАМП.

У системі не регламентований жорсткий порядок проектування штампа. Конструкторові надається повна воля вибору послідовності реалізації бібліотек проектування, за деякими природними виключеннями. Не маючи відомостей про робочу зону, не можна спроектувати робочі деталі штампа (пуансони, пуансони-матриці, виштовхувачі). Не можна, наприклад, сформувати специфікацію без попереднього проектування робочих креслень деталей штампа. Не можна спроектувати систему кріплення, не маючи відомостей про деталі, що скріплюються.

Рекомендується починати проектування штампа із виконання операційного ескізу й формування робочої зони штампа, потім перейти до проектування складального креслення (плану низу, розрізу головного виду, плану верху), після чого сформувати робочі креслення для всіх оригінальних деталей штампа. У процесі проектування складального креслення конструктор може тимчасово перейти на проектування робочих креслень окремих деталей. Наприклад, для визначення довжини пуансона при побудові розрізу головного виду штампа для гнуття. До автоматизованого формування специфікації можна приступати тільки після того, як оформлені робочі креслення на всі оригінальні деталі штампа, які потрібно включити в специфікацію.

Бібліотеки проектування містять велику кількість різноманітних типів і різних конструктивних виконань деталей штампів, складальних одиниць, і технологічних систем. Конструкторові надається зручний і досить простий в освоєнні апарат маніпулювання об'єктами проектування, що дозволяє йому вільно реалізовувати не тільки типові, але й досить нетривіальні конструкторські рішення. Так, наприклад, при проектуванні блоку штампа конструктор може вибрати стандартну литу верхню плиту й спроектувати оригінальну прямокутну нижню, при цьому габарити плит можуть не збігатися. Пакет штампа може містити будь-який набір деталей типу плит, наприклад, мати кілька матриць або пуансоно-тримачів. При необхідності конструктор може вводити додаткові або допоміжні плити до складу блока, або пакета, передбачати найрізноманітніші способи кріплення деталей штампа тощо.

З виходом версії КОМПАС-ШТАМП 5.6 з'явилась 3-D бібліотека деталей штампа

На будь-якому етапі проектування конструктор може внести необхідні корективи, змінити раніше ухвалені рішення, повторивши тільки ті етапи, які безпосередньо пов'язані з коректуванням. Усі результати розрахунків або вибору значень із таблиць пред'являються на контроль конструктору, і він може їх корегувати.

Інформаційна база системи містить табличні дані з довідників, державних стандартів, стандартів підприємств, що використовуються при проектуванні штампів. Передбачений простий і зручний доступ для редагування таблиць НСИ з метою адаптації системи до умов конкретного підприємства.

Система КОМПАС-ШТАМП постійно вдосконалюється й розвивається, як у напрямку розширення функціональних можливостей системи, так і в напрямку вдосконалювання сервісного обслуговування користувача в процесі проектування.

Розділ 5 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТИПОВІ КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПІВ

5.1. Класифікація штампів

Штampi листового штампування *призначені* для виготовлення виробів і заготовок із листового прокату (листа, штаби, стрічки, рулону) і дроту чорних та кольорових металів та сплавів, а також неметалевих листових матеріалів (текстоліту, гетинаксу, оргскла, полістиролу та інших) у діапазоні зміни товщини від сотих часток міліметра до 20 мм, і в діапазоні зміни мас від часток грама до декілька сотень кілограмів. На них матеріал штампується, як правило, без суттєвого зменшення товщини вихідного матеріалу. Із загального об'єму їхня частка найбільша, а конструкції найбільш різноманітні.

Конструкція штампа залежить від багатьох факторів. Так, *за видом штампування* розрізняють:

- штаmpi для холодного штампування;
- штаmpi для гарячого штампування;
- штаmpi (прес-форми) для рідкого штампування,

що є *загальною класифікацією штампів*.

Класифікація штампів *за принципом дії*:

- штаmpi простої дії (для виконання однієї технологічної операції);
- штаmpi складної дії (для виконання двох і більше операцій). До них відносяться штаmpi послідовної дії, суміщеної дії та послідовно-суміщеної дії;

Класифікація штампів *за технологічною ознакою*:

- розділові штаmpi простої дії (для виконання операцій відрізування, вирубування, пробивання, обрізування, розрізування, надрізування, проколювання, зачищення, висікання, просікання);
- формозмінні штаmpi простої дії (для виконання операцій гнуття, рельєфного формування, витягування, відбортування, скручування, загортання, правлення, роздавання, обтискування, карбування, калібрування, завивання);
- комбіновані штаmpi – штаmpi складної дії;
- складальні штаmpi (для складання двох і більше деталей).

5.2. Загальна методика проектування

У загальному випадку завдання на проектування штампа повинно містити наступні *вихідні дані*:

- інформацію про призначення штампа;
- операційний ескіз деталі за операцією штампування;
- креслення вихідної заготовки або схема розкрою штаби, чи стрічки;
- модель обладнання, що застосовується, з технічною характеристикою;
- тип виробництва з переліком завдань щодо автоматизації та механізації операції штампування;
- строки розробки;
- особливі умови проектування.

5.3. Вимоги щодо оформлення складального креслення штампа

У загальному випадку креслення штампів для листового штампування повинно виконуватися згідно з вимогами стандартів ЄСКД.

У нашій країні та в багатьох зарубіжних країнах світу прийнята така основна схема розташування основних і додаткових проєкцій, текстових документів та іншої інформації на складальному кресленні штампа для листового штампування (рис. 5.1):

- зона 1: головний розріз штампа (А-А);
- зона 2: план низу, тобто вид зверху на нижню частину штампа;
- зона 3: допоміжний розріз (Б-Б);
- зона 4: план верху, тобто вид зверху на нижню частину штампа. Допускається замість плану верху в цій зоні зображати вид знизу на верхню частину штампа (В);

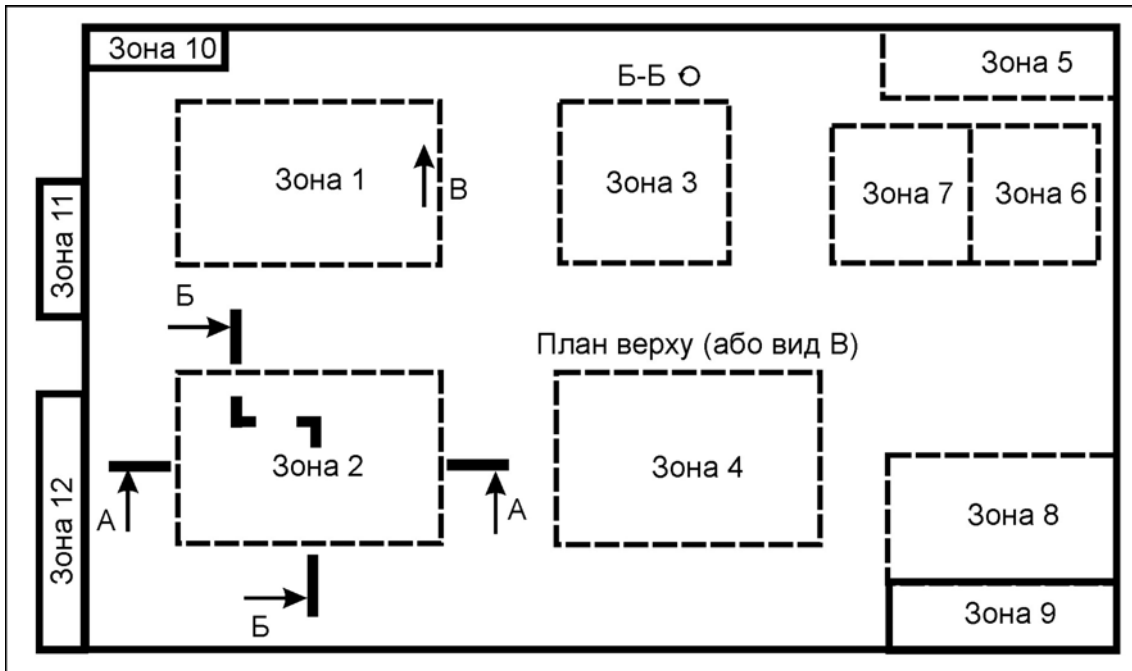


Рис. 5.1. Схема розташування інформації на складальному кресленні штампа

- зона 5: таблиця, що містить найменування та позначення штамів, які входять у комплект для обробки даної деталі;
- зона 6: операційний ескіз деталі, що штампується;
- зона 7: ескіз вихідної заготовки або отриманої після попередньої операції штампування;
- зона 8: технічні вимоги на виготовлення та експлуатацію штампа;
- зона 9: основний напис складального креслення;
- зона 10: позначення документа;
- зони 11, 12: додаткові графи, що передбачені стандартом та пов'язані з обліком документа в умовах підприємства.

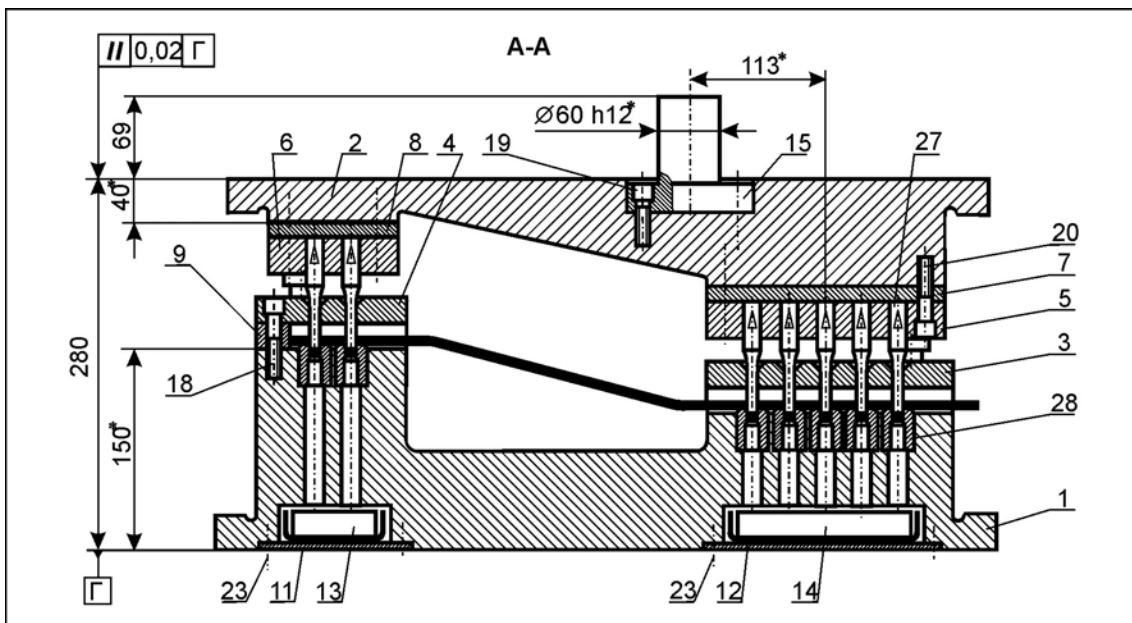


Рис. 5.2. Приклад оформлення головного розрізу штампа для пробивання

На головному розрізі (рис. 5.2) штамп зображають у замкнутому (робочому) стані і відбивають роботу по можливості усіх основних і допоміжних елементів: пуансонів, матриць, пуансонотримачів, матрицетримачів, підкладних плиток та шпонок для пуансонів і матриць, знімачів, напрямних планок (а іноді, напрямних колонок і втулок), нижньої та верхньої плит, хвостовика, упорів, фіксаторів, обмежувачів закритої висоти штамп, вантажних гвинтів, кріпильних виробів, різних допоміжних пристроїв та інших елементів. Тут показується закрыта висота штамп, тобто відстань між його опорними площинами в закритому (робочому) стані. Інші розміри конструктор показує при необхідності як довідкові із зірочкою. Це найнасичена за інформацією проекція складального креслення штамп.

На складальному кресленні штамп на місці виду зверху повинно бути зображено план низу. Ця умовність є особливістю складального креслення штамп. На плані низу (рис. 5.3) показують: розташування упорів або інших напрямних елементів (планок, фіксаторів), що забезпечують фіксування вихідної заготовки при виконанні даної операції; контури робочих вікон матриць та знімача; розташування напрямних колонок (рідше напрямних втулок); місця кріплення нижньої частини штамп до підштампової плити преса; розташування кріпильних виробів та вантажних гвинтів для транспортування штамп. Крім того, проставляють габаритні розміри в плані, показують осі штамп, і виконують прив'язування осей робочої зони штамп (наприклад, осей матриці) до осей напрямної колонки як до точно обробленому (базовому) елементу нижньої частини штамп. Показують місце маркірування штамп. Слід відмітити, що розміри між напрямними вузлами треба показувати тільки на плані низу. Якщо на складальному кресленні фронтальна сторона штамп повернута відносно спостерігача на 90° або на 180° , на плані низу збоку пресувальника показується стрілка, яка збігається з напрямком штампуння, а над стрілкою робиться напис: "Фронт".

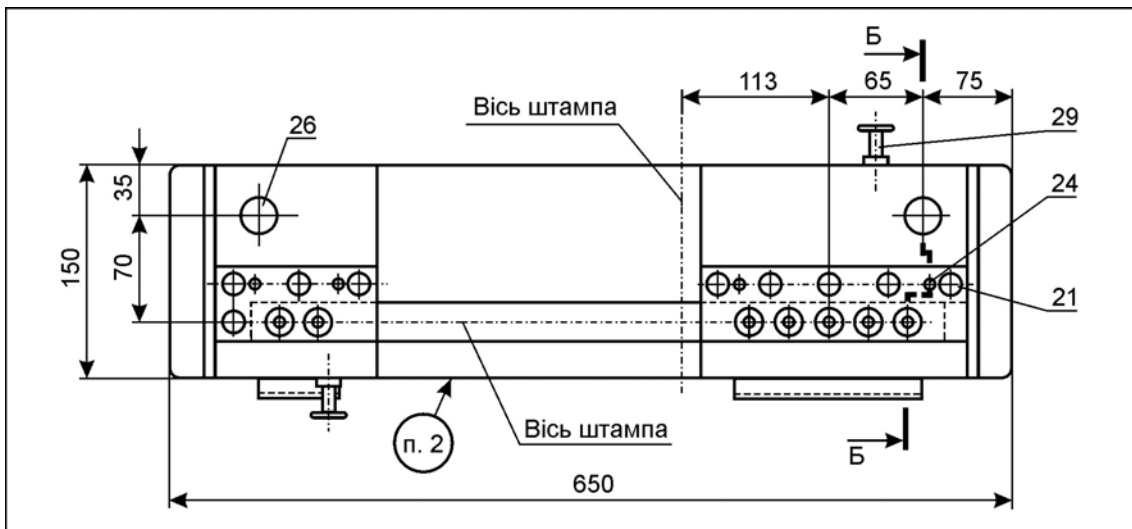


Рис. 5.3. Приклад оформлення плану низу штамп для пробивання

Допоміжний розріз (рис. 5.4, а) виконують в тому разі, коли головний розріз та план низу не дають повне уявлення про роботу або спосіб кріплення якого-небудь елемента штамп (наприклад, про роботу приводів та пристроїв, що виштовхують, способах кріплення і фіксування пуансонів, матриць, пуансонотримачів, матрице-тримачів, напрямних колонок та втулок). Крім того, на додатковому розрізі допускається зображати штамп у розкритому (не робочому) стані, якщо є потреба показати роботу якого-небудь механізму в крайньому верхньому положенні. На рис. 5.4, б, як приклад, показано допоміжний розріз штамп у розкритому стані для вирубування, де видна робота нижнього рухомого знімача. У цьому випадку над зображенням робиться напис: "У розкритому стані".

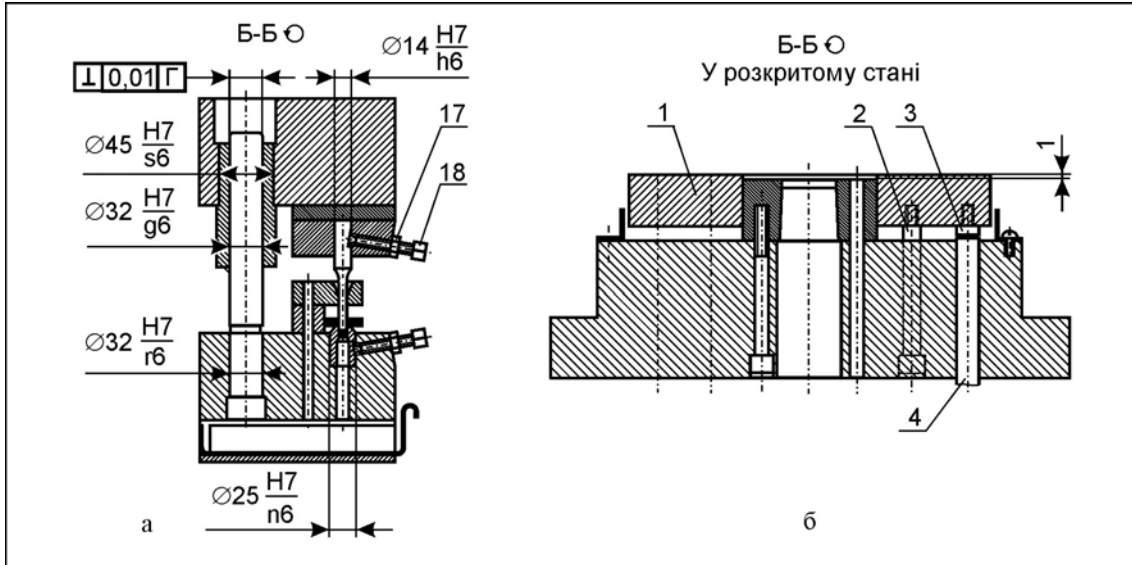


Рис. 5.4. Приклади оформлення допоміжних розрізів: а – розріз Б-Б штампа для пробивання; б – розріз Б-Б штампа суміщеної дії у розкритому стані; 1 – нижній рухомий знімач; 2 – ступінчастий гвинт; 3 – упор; 4 – штовхач, що працює від нижнього буфера преса

На плані верху (рис. 5.5, а) зображують місця кріплення верхньої плити до повзуна преса, показують розташування напрямних вузлів, кріпильних виробів та вантажних гвинтів, а також виконують прив'язування осей і робочої зони штампа до осей напрямної втулки, та показують габаритні розміри верхньої плити. План верху можна не зображати, якщо не утрудняється читання креслення. При проектуванні особливо складних або великогабаритних розділових штампів доцільно показувати на додаткових листах, крім плану верх, ще й вид на верхню частину штампа знизу (див. рис. 4.1, вид В), який включає в себе інформацію (рис. 5.5, б): про взаємне розташування пуансонів або ножів, про контури пуансонотримачів і верхніх рухомих знімачів, про розташування кріпильних виробів та вантажних гвинтів, про місця болтового кріплення верхньої частини штампа до повзуна преса (для великогабаритних штампів та штампів, що проектується на преси номінальним зусиллям 1000 кН і більше), або про контури та місця кріплення хвостовика (для середніх та дрібних штампів). Крім того, на даному виді при необхідності показують місце маркування штампа, проставляють габаритні розміри, виконують прив'язування робочої зони штампа аналогічно, як і на плані верху. Слід відмітити, що прив'язування на всіх видах повинні виконуватися від однієї бази, а отже, повинні бути однаковими.

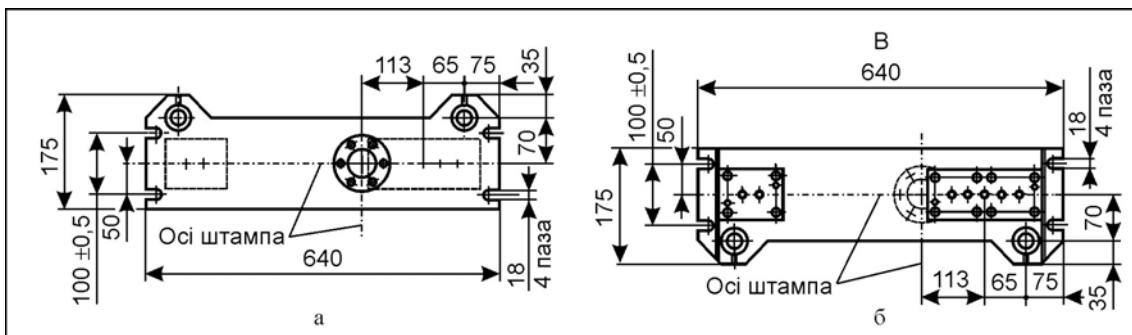


Рис. 5.5. Приклади оформлення інших проєкцій штампа для пробивання: а – плана верху; б – виду знизу на верхню частину

У зоні 5 на першому листі складального креслення допускається розмішувати таблицю, що вміщує найменування та позначення штампів, які входять у комплект для обробки даної деталі. Розміри таблиці та приклад її заповнення показано на рис. 5.6.

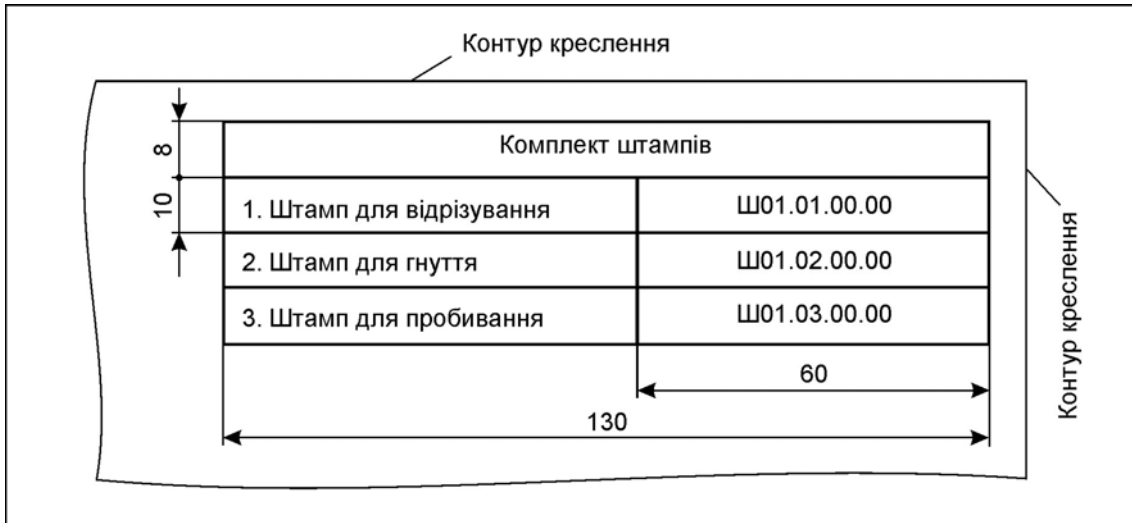


Рис. 5.6. Приклад оформлення таблиці, що вміщує найменування та позначення штампів, які входять в комплект для штампування деталі

Операційний ескіз деталі, що штампується (рис. 5.7), виконують в тому вигляді та з тими розмірами та іншими даними, яким деталь повинна відповідати після штампування на даному штампі. На операційному ескізі деталь бажано зображати в тому положенні, у якому вона обробляється в даному штампі. На зображення допускається наносити тільки ті розміри, які необхідні для розробки й контролю штампа, включаючи базові та для фіксації деталі. На зображенні деталі, що штампується, рекомендується показувати та позначати осі штампа, а також кут повороту деталі, якщо на штампі вона повернута.

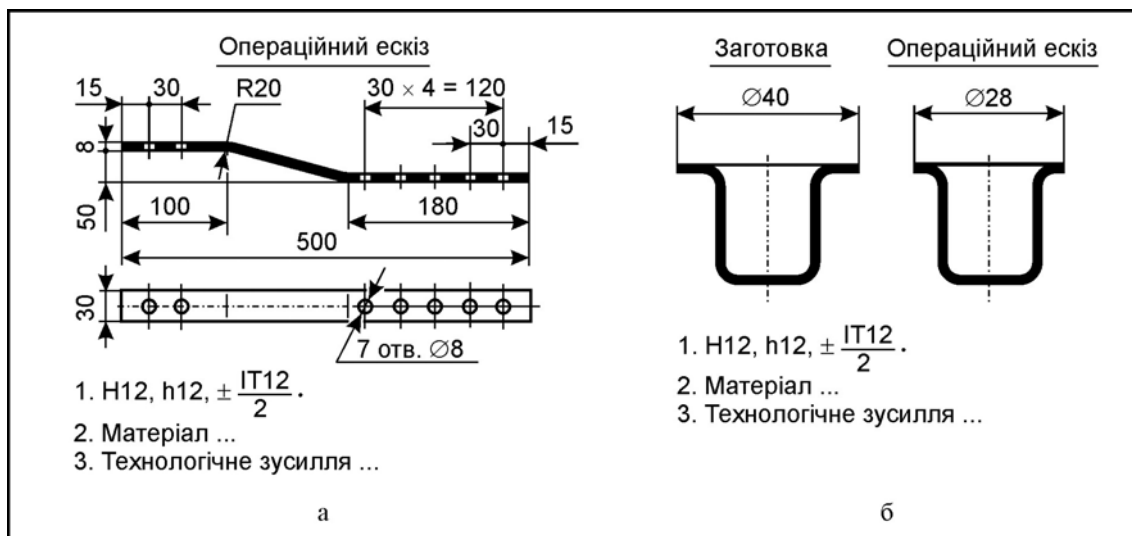


Рис. 5.7. Приклади оформлення операційних ескізів: а – операційний ескіз деталі «Планка» штампа для пробивання; б – ескіз вихідної заготовки (ліворуч) та та операційний ескіз (праворуч) деталі «Ковпачок» штампа для обрізування

Допускається зображати деталь, що штампується, частково, показуючи тільки ділянку, що оброблюється на даному штампі. Під операційним ескізом допускається приводити необхідні відомості, наприклад, матеріал, технологічне зусилля тощо. У випадку, коли в даному штампі виготовляється не остаточно готова деталь, що штампується, а заготовка для подальшого штампування, і деякі розміри цієї заготовки на операційному ескізі підлягають уточненню за результатами обробки в наступному штампі, необхідно помістити такі розміри в круглі дужки, і в

тексті під операційним ескізом привести запис: “Розміри в дужках уточнити в ... штампі ...” (показати найменування та позначення штампа).

Допускається поміщати ліворуч від операційного ескізу зображення заготовки – вихідної або отриманої після попередньої операції штампування. Над зображенням робиться надпис: "Заготовка" (рис. 5.7, б). Якщо вихідна заготовка – штаба, стрічка або дрiт, треба приводити схему розкрою даного матеріалу. У цьому випадку над схемою робиться надпис: “Схема розкрою” (рис. 5.8). На схемі розкрою стрічки (штаби) слід виділити штрихуванням зображення деталей, що вирубуються, та відходів, що відокремлюються від заготовки. Допускається зображати заготовку, схему розкрою на окремому (як правило, останньому) листі креслення разом з операційним ескізом деталі, що штампується.

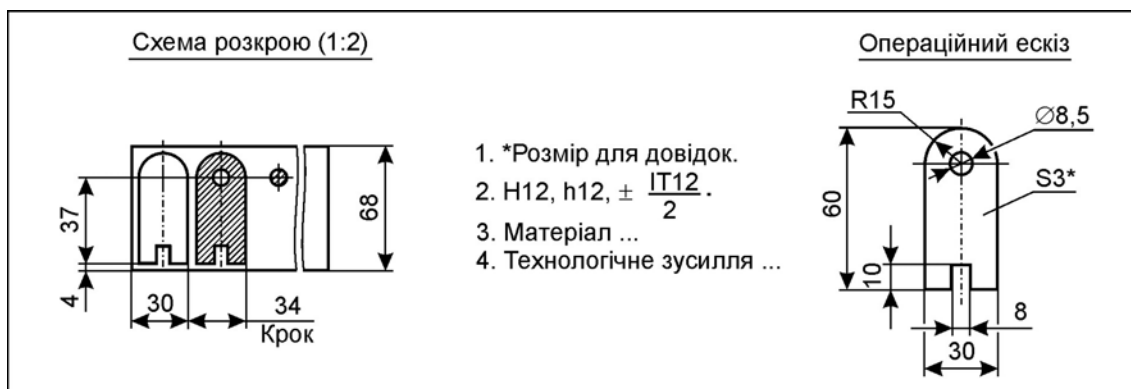


Рис. 5.8. Приклад оформлення операційного ескізу та схеми розкрою штампа для виготовлення деталі «Упор» (штамп послідовної дії для пробивання та вирубання)

Технічні вимоги на виготовлення та експлуатацію штампа (рис. 5.9) записують у вигляді самостійних пунктів.

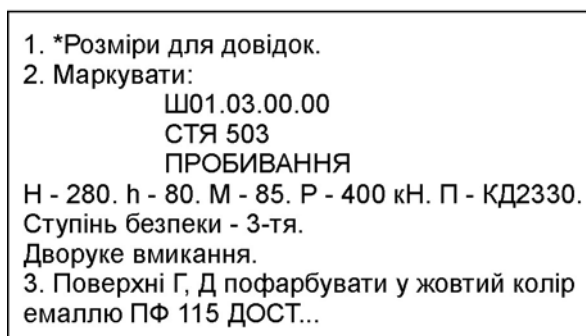


Рис. 5.9. Приклад оформлення вимог на виготовлення штампа для пробивання

У першому пункті пояснюють, що розміри із зірочкою (*) на складальному кресленні штампа – довідкові. До довідкових належать розміри, які повторюються при виконанні робочих креслень деталей штампа.

У другому пункті показують приклад маркування штампа, який включає в себе:

- позначення штампа (Ш01.03.00.00) ;
- позначення деталі, що штампується (СТЯ 503) ;
- закриту висоту штампа, мм (Н - ...);
- технологічне (розрахункове) зусилля (Р - ...кН) ;
- модель преса (П – КД...);
- хід повзуна, мм (h - ...);
- масу штампа в кілограмах без постановки розмірності (М - ...), або в інших одиницях виміру з показанням саме в яких (М - ...т) ;
- ступінь безпеки штампа за стандартом (3-тя ступінь безпеки);
- засіб захисту оператора: “Робити пінцетом”, “Робити гачком”, “Дворучне вмикання”, “Фотоелектронний захист”, “Захисна огорожа” тощо.

Ступінь безпеки це характеристика, що відбиває виконання норм техніки безпеки, а також оснащеність штампа технічними засобами для забезпечення безпечної праці. Штampi для листового штампування, що обслуговуються пресувальником, підрозділяються на три ступені безпеки у відповідності з таблицею 5.1, а штampi, що роблять в автоматичному режимі без участі пресувальника, у класифікацію не входять і не позначаються.

Таблиця 5.1

Ступені безпеки штампів для листового штампування		
Ступінь безпеки	Умовний знак ступеня безпеки	Характеристика зони ручних робіт
1	o	Захищена або дотримані зазори
2	oo	Захищена неповністю або неповністю дотримані зазори
3	ooo	Незахищена або не дотримані зазори

Штampi в залежності від ступеня безпеки повинні мати маркування умовного знака ступеня безпеки й, при необхідності, сигнальний (жовтий) колір. Сигнальний колір може бути нанесеним фарбою чи іншим способом. Умовний знак ступеня безпеки виконується на нижній плиті штампа у вигляді поглиблення діаметром d від 4 до 30 мм та глибиною h не менш 1 мм (рис. 5.10, а) або зображенням кругів тих же діаметрів на табличці, що прикріплюється (рис. 5.10, б). Розміри умовних знаків вибираються в залежності від габаритів плити штампа: чим більш габарити плити, тим більш розмір знака. Колір поверхні знаків повинен бути чорним на жовтому фоні.

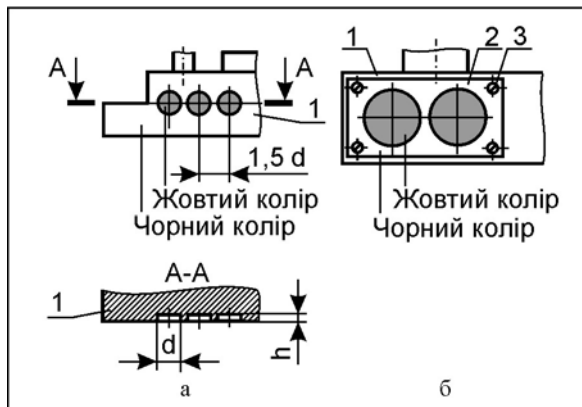


Рис. 5.10. Приклади оформлення умовних знаків ступеню безпеки штампа у вигляді: а – поглиблень; б – таблички

Рис. 5.10. Приклади оформлення умовних знаків ступеню безпеки штампа у вигляді: а – поглиблень; б – таблички

У третьому пункті технічних вимог показують попереджуючі позначення, що наносяться на штамп у зв'язку з відповідним ступенем його безпеки. Так, на штампах другого та третього ступеня безпеки на верхній та нижній плитах наноситься смуга сигнального кольору завширшки не менш 20 мм. Смуга наноситься на плитах за усією довжиною фронтальної сторони (із боку пресувальника або пресувальників).

У четвертому та подальших пунктах приводяться спеціальні технічні вимоги, щодо виготовлення, складання та експлуатації даного штампа. Так, наприклад, текстом у вимогах або умовним позначенням на кресленнях розрізів штампа слід показати допуск паралельності опорної поверхні верхньої плити відносно опорної поверхні нижньої плити, як бази для вимірювання (див. рис. 5.2), та допуск перпендикулярності осей напрямних колонок відносно опорної поверхні відповідної плити (див. рис. 5.4).

Загальні вимоги оформлення основного напису складального креслення будь-якого виробу (див. рис. 5.1, зона 9) обумовлені формою 1 відповідного стандарту. Найменування штампів для листового штампування, що приводять в основному напису складального креслення (рис. 5.11), повинно відповідати стандарту, а саме:

- найменування штампів простої дії утворюється за допомогою виразу: “Штамп простої дії для ...” із додаванням назви технологічної операції за стандартом у непрямому відмінку. Наприклад: “Штамп простої дії для вирубування”;

- найменування штампів суміщеної та послідовної дії утворюються за допомогою виразу: “Штамп суміщеної (послідовної) дії для ...” із додаванням назв технологічних операцій у непрямому відмінку. Наприклад: “Штамп послідовної дії для витягування та обрізування”;

					Ш01.03.00.00 СК		
					Штамп для пробивання		
					Складальне креслення		
					Прес КД ...		ЦНТУ
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Хмара		1.02.21		150	1:2
Перев.		Фінько		2.02.21			
Т. контр.		Чорний		8.02.21	Лист	Листів	2
Н. контр.		Коваль		2.02.21			
Затв.		Редько		8.02.21			

Рис. 5.11. Приклад оформлення основного надпису складального креслення штампа простої дії для пробивання (форма 1)

- найменування універсальних штампів утворюються за допомогою виразу: “Універсальний штамп для ...” із додаванням назви технологічної операції у непряму відмінку. Наприклад: “Універсальний штамп для гнуття”;

- у випадку, якщо для виготовлення деталі використовується тільки один штамп, його найменування допускається утворювати за допомогою виразу: “Штамп для виготовлення ...” із додаванням найменування або позначення деталі. Наприклад: “Штамп для виготовлення шайби”, “Штамп для виготовлення деталі 243.01”;

- найменування штампів допускається уточнювати за признаками операцій, ступеня автоматизації, температурної характеристики операції та за особливостями складання. Наприклад: “Штамп для першого витягування”, “Штамп-автомат”, “Штамп для гарячого гнуття”, “Штамп зі змінним пакетом”;

- якщо в одному штампі виконується велика кількість різнойменних операцій, його допускається йменувати: “Штамп для листового штампування”.

В основному напису масу штампа треба проставляти в кілограмах без показання одиниці виміру (див. рис. 5.11), або у інших одиницях виміру із показанням саме в яких.

Якщо складальне креслення штампа виконане на одному листі, то в графі “Лист” нічого не проставляється, а в графі “Листів” ставиться цифра 1 (див. рис. 3.14). А в тому випадку, коли складальне креслення штампа виконано на двох і більше листах, то в графі “Лист” ставиться порядковий номер листа креслення, тобто цифра 1, а в графі “Листів” – їхня загальна кількість. При цьому на другому й подальших листах складального креслення основний напис робиться за формою 2а відповідного стандарту (рис. 5.12).

					Ш02.02.00.00 СК		Лист
							2
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

Рис. 5.12. Приклад оформлення основного напису складального креслення (форма 2 а)

У зоні 10 складального креслення штампа (див. рис. 5.1) позначення документа виконується повернутим на 180° для формату А4, та для форматів більших А4 при розташуванні основного напису вздовж довгого боку листа, і на 90° для форматів більших А4 при розташуванні основного напису уздовж короткого боку листа.

До комплексу конструкторської документації штампа листового штампування, призначеного для експлуатації на двостоякових пресах, повинно входити монтажне креслення, у якому показуються розміри для встановлення штампа відносно осей преса, і перераховуються деталі, необхідні для кріплення штампа до преса. При наявності на повзуні або столі преса отворів для кріплення штампа слід показати координати отворів, що використовуються. При використанні в штампі буфера преса в монтажному кресленні повинна бути приведена схема розташування й

розміри отворів під буферні шпильки. Ці дані в монтажному кресленні не приводять, якщо вони нанесені на спеціальній табличці, що є на штампі. У випадку, коли штамп призначено для експлуатації на пресі з додатковими підштамповими плитами, вони повинні бути показані в монтажному кресленні на спрощеному зображенні штампа в розрізі на головному виді. Якщо штамп центрується або кріпиться до пресу хвостовиком, і для його кріплення не потрібні додатково які-небудь вироби, монтажне креслення не випускається.

Крім того, до комплекту конструкторської документації штампа листового штампування обов'язково додається специфікація. У загальному вигляді специфікація включає в себе такі розділи: документацію, складальні одиниці, деталі та стандартні вироби.

Розділ “Документація” може містити складальне креслення, монтажне креслення, гідравлічну, пневматичну та кінематичну схеми тощо.

Розділ “Складальні одиниці” містить перелік усіх оригінальних вузлів, що використовуються в даному штампі. Вузли записуються в специфікацію в будь-якій послідовності. Наприклад: “Огорожа”, “Лоток” тощо.

Розділ “Деталі” містить перелік усіх оригінальних деталей, з яких складається даний штамп.

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
Документація						
			Ш01.03.00.00 СК	Складальне креслення		
Деталі						
A1	1	Ш01.03.00.01		Нижня плита	1	
A1	2	Ш01.03.00.02		Верхня плита	1	
A4	3	Ш01.03.00.03		Знімач	1	
A4	4	Ш01.03.00.04		Знімач	1	
A4	5	Ш01.03.00.05		Пуансонотримач	1	
A4	6	Ш01.03.00.06		Пуансонотримач	1	
A3	7	Ш01.03.00.07		Підкладна плита	1	
A4	8	Ш01.03.00.08		Підкладна плита	1	
A4	9	Ш01.03.00.09		Упор	1	
A3	10	Ш01.03.00.10		Упорна планка	1	
A3	11	Ш01.03.00.11		Планка	1	
A4	12	Ш01.03.00.12		Планка	1	
A3	13	Ш01.03.00.13		Лоток	1	
A3	14	Ш01.03.00.14		Лоток	1	
A4	15	Ш01.03.00.15		Центрошукач	1	
	16			Гайка М10. 5		
Стандартні вироби						
	17			Гвинт М10 х 50. 48		
	18			Гайка М10. 5	14	
				ГОСТ 5915-70		
				Гвинт М10 х 50. 48		
				ГОСТ 1482-84	6	
				Гвинти по ГОСТ 11738-84		
	19			М12 х 30. 88	4	
Ш01.03.00.00						
Зм	Лист	№ докум	Підп.	Дата	Літ	Лист
Рисоб	Змаса		10.75		1	2
Рисов	Фіншо		20.75		1	2
Н. контр	Коваль		20.75			
Зав	Рядко		20.75			
Штамп для пробивання						ЦНТУ

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
		20		М12 х 45.88	9	
		21		М12 х 80.88	10	
		22				
		23		Гвинт 2М5 х 14.58		
		24		ГОСТ 17475-80	8	
		25		Штифт 10 х 70	8	
		26		ГОСТ 3128-70		
		27		Втулка 1032-3046		
		28		ГОСТ 13121-83	2	
		29		Колонка 1030-3006		
				ГОСТ 13119-81	2	
				Пуансон 1142-3006-		
				-8.02 н6-У10А		
				ГОСТ 16629-80	7	
				Матриця 1111-1929-		
				-9.32 Н7-У10А	7	
				Гвинт 7095-0022		
				ГОСТ 8922-69	4	
Ш01.03.00.00						
Зм	Лист	№ докум	Підп.	Дата	Лист	
Ш01.03.00.00						2

Рис. 5.13. Приклад оформлення специфікації штампа для пробивання : а – лист 1; б – лист 2

Розділ “Стандартні вироби” складається із двох підрозділів. У перший підрозділ входять усі нормалізовані кріпильні вироби й записуються в специфікацію в алфавітному порядку. Наприклад: болти, гайки, гвинти, шайби, шпильки, шплінти, штифти. Якщо є різні вироби одного найменування, то спочатку в специфікацію вписуються ті, що мають менший номер стандарту. Наприклад: гвинти по ГОСТ 11738-... , а потім гвинти по ГОСТ 11775-... У межах одного стандарту кріпильні вироби записуються у специфікацію в порядку зростання типорозміру. Наприклад: “Болт М10 х 50”, а потім “Болт М12 х 50”. У межах одного типорозміру запис у специфікацію ведеться в порядку зростання підтипорозміру. Наприклад: “Болт М10 х 50”, а потім “Болт М10 х 70”. У другій підрозділ входять усі інші нормалізовані деталі штампа й записуються в специфікацію в будь-якому порядку. Наприклад: “Колонка 1030-6042 ГОСТ 13118-...”, “Втулка 1032-2616 ГОСТ 13120-...”, “Хвостовик 1034-0761 ГОСТ 16718-...”.

Між розділами специфікації, а також між кріпильними виробами допускається та рекомендується пропускати місце під резервні позиції, кількість яких пропорційна загальній кількості позицій у специфікації. Місце під резервні позиції потрібно не тільки для випадкового пропущення позицій при розробці специфікації, але й для позицій, які можуть з'явитися після випробування штампа з метою вдосконалення конструкції. Приклад оформлення специфікації штампа для пробивання показано на рис. 5.13.

Послідовність проектування штампа. Взявши до відома загальні принципи проектування машин, рекомендації відповідних стандартів, пропонується така орієнтовна послідовність проектування штампа:

- за допомогою довідника визначають геометричні параметри робочої зони вибраного преса: мінімальну та максимальну закриту висоту; діаметр отвору під хвостовик; габаритні розміри підштампової плити, повзуна або верхньої плити; розміри та місця розташування на плитах або повзуні Т-образних пазів для кріплення штампа; розміри та місця розташування верхніх та нижніх виштовхувачів тощо;

- на підставі операційного ескізу деталі, що штампується, креслення вихідної заготовки або схеми розкрою вибирають, і аналізують принципову схему штампування, як взаємозв'язане розташування інструмента, упорів та інших допоміжних деталей відносно заготовки, що обробляється, у робочому положенні штампа. За результатами аналізу уточнюють схему штампування;

- з метою вибору геометричних параметрів нормалізованого чи оригінального блока виконують ескізне (безмасштабне) компоновання штампа й підраховують габарити його робочої зони, тобто розміри "дзеркала" $L \times B$ та висоти пакету H . Компоновання починають із викреслювання вихідної заготовки або схеми розкрою на головному розрізі та на плані низу в робочому положенні інструмента. Далі приймають рішення відносно виду напрямних вузлів блока (ковзання чи кочення), їхньої кількості та розташуванню. За результатами розрахунку $L \times B \times H$ вибирають найближчий більший нормалізований блок відповідного виду, або проектують оригінальний. Закрита висота нормалізованого чи оригінального блока повинна "вписатися" у діапазон можливих закритих висот пресу;

- виконують розрахунок штампа. У залежності від типу штампа та виду операції (операції) штампування виконують: розрахунок координат центра тиску штампа, розрахунок пуансонів на міцність, перевірку поверхні верхньої плити над пуансоном на зминання з метою обґрунтування необхідності застосування підкладної плитки, розрахунок геометричних параметрів матриць для розділових операцій, розрахунок плит на міцність, розрахунок кількості та діаметра кріпильних елементів знімача, розрахунок геометричних параметрів буферних пристроїв (гумових, поліуретанових, пружинних), розрахунок мінімального діаметра напрямної колонки та інші розрахунки. Методика розрахунку елементів штампів приведена нижче;

- виконують масштабне компоновання й креслення штампа: вирішують питання про кількість та розташування на листах складального креслення основних і допоміжних проєкції та інших зон (див. рис. 5.1), про кількість листів складального креслення; викреслюють операційний ескіз, заготовку або схему розкрою з технічними вимогами на деталь; викреслюють робочу зону на всіх прийнятих проєкціях та елементи базування заготовки (напрямні планки, трафарети, упори, фіксатори); компонують елементи знімання деталі або відходу із пуансона: уточнюють тип знімача (жорсткий чи рухомий); компонують елементи кріплення та фіксування деталей штампа між собою; викреслюють контури блока штампа з урахуванням центра тиску; компонують елементи кріплення штампа (хвостовик, полиці, пази); приймають рішення про використання вантажних гвинтів. За стандартною нормою штампи, їхні вузли й деталі масою більш 20 кг повинні мати місця захвату для безпечного транспортування (приливи, транспортні штирі, рим-болти або різьбові отвори під деталі для стропування); вирішують питання забезпечення безпечної праці пресувальника на штампі: проектують необхідну захисну огорожу, передбачають засоби автоматичного завантаження заготовок та вилучення готових деталей зі штампа; наводять проєкції лініями відповідної товщини, виконують штрихування розрізів; проставляють основні (габаритні та прив'язочні) та довідкові розміри. Позначають довідкові розміри зірочками;

- розробляють технічні вимоги на виготовлення та експлуатацію штампа;

- виносять позиції на складальні одиниці, деталі й стандартні вироби, та розробляють специфікацію штампа. При цьому використовують стандартну термінологію. Витяг основних термінів зі стандарту приводиться в таблиці 5.2;

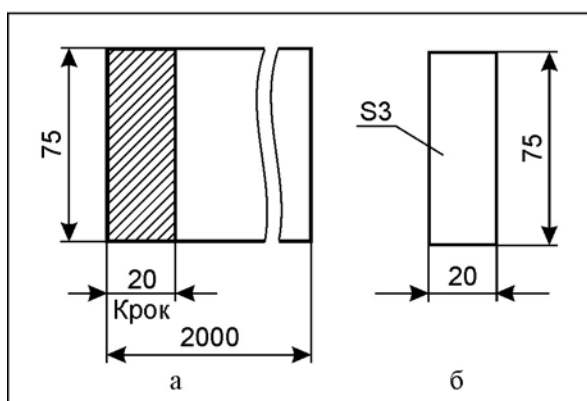
- остаточно оформляють складальне креслення у відповідності з вимогами та рекомендаціями, що наведені вище.

Таблиця 5.2

Основні стандартні терміни на вузли та деталі штампів листового штампування

Термін	Термін
Робочий елемент	Секція матриці
Блок	Секційна матриця
Універсальний блок	Вставка
Блок штампа з діагональним розташуванням напрямних вузлів	Пуансон
Блок штампа з осьовим розташуванням напрямних вузлів	Секція пуансона
Блок штампа із заднім розташуванням напрямних вузлів	Секційний пуансон
Блок штампа із чотирма напрямними вузлами	Пуансон-матриця
Напрячний вузол	Пуансонотримач
Циліндричний напрячний вузол штампа	Матрицетримач
Напрячний вузол ковзання	Обойма
Напрячний вузол кочення	Підкладна плитка
Плоский напрячний вузол штампа	Напрячна планка
Клин	Ніж
Повзунок	Опорна планка
Пакет	Трафарет
Нижня плита	Фіксатор
Верхня плита	Упор
Напрячна колонка	Притискач
Напрячна втулка	Знімач
Хвостовик	Виштовхувач
Матриця	Штовхач
Перетяжне ребро	Траверса
Перетяжний поріг	Буфер
	Противідтискач
	Обмежувач
	Відлипач
	Скидач

ПРИКЛАД. Спроекувати штамп простої дії для відрізування деталі “Накладка”. Вихідні дані: операційний ескіз та схема розкрою штаби (рис. 5.14); технологічне зусилля штампування – $P = 62$ кН; технологічне обладнання – прес КД2122Г ($P_H = 160$ кН); режим штампування – ручний; матеріал, що штампується:



Лист $\frac{Б - ПН - 3,0 \times 1000 \times 2000 \text{ ГОСТ } 19903 - \dots}{20 - 2 - Т \text{ ГОСТ } 1577 - \dots}$

Рис. 5.14. Схема розкрою штаби (а) та операційний ескіз деталі (б)

Проектування штампа здійснюють у такій послідовності:

- **визначають максимальну та мінімальну можливу закриту висоту преса.** Для цього в довіднику знаходять інформацію щодо розрахунку найбільшої відстані H_{max} між підштамповою плитою

преса, і повзуном у крайньому нижньому положенні, як найбільшу можливу закриту висоту преса, при прийнятному ході повзуна $t = 24,7$ мм:

$$H_{max} = H - H_{плт} + h_{max} - t = 250 - 71 + 71 - 24,7 = 225,3 \text{ мм,}$$

де позначення H , $H_{плт}$, h_{max} дивись на схемі довідника по обладнанню. Тоді найменшу відстань H_{min} між підштамповою плитою преса та повзуном у крайньому нижньому положенні повзуна, як найменшу можливу закриту висоту преса, підраховують за формулою:

$$H_{min} = H_{max} - \Delta_{ш} = 225,3 - 45 = 180,3 \text{ мм,}$$

де $\Delta_{ш}$ – величина регулювання закритої висоти преса. Там ж знаходять діаметр отвору в повзуні під хвостовик - $d_{нз} = 40$ мм та габаритні розміри підштампової плити в плані - $A_{плт} \times B_{плт} = 500 \times 380$ мм;

• **вибирають та аналізують принципову схему відрізування** (рис. 5.15, а). У зв'язку з тим, що довжина частини заготовки, яка відрізається (ширина деталі), відносно не велика ($l = 20$ мм), та на рухомий ніж у момент відрізування діє сила P_B , що направлена на збільшення зазору між ножами ($Z_{онм} < Z_{max}$), доцільно підвищити ширину рухомого ножа до розміру $l_1 = l - Z_{онм}$ та використати протівідтискач (рис. 5.15, б), який, з одного боку, буде виконувати функцію упору, а з другого боку, буде зрівноважувати силу P_B рівнодіючою реакцією опори від нерівномірно розподіленого навантаження q у зоні контакту із рухомих ножем. У зв'язку із цим уточнюють схему відрізування;

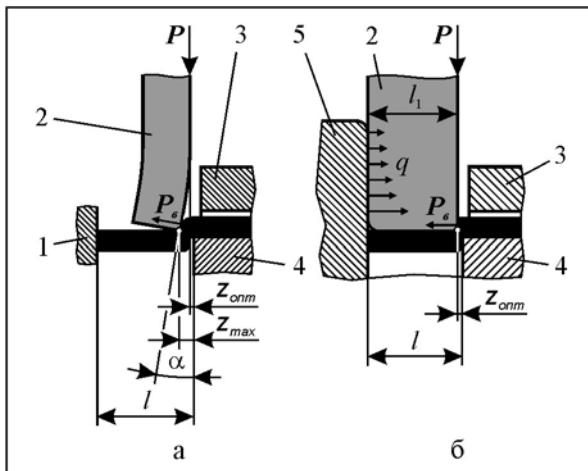


Рис. 5.15. Схема відрізування: а – принципова (загальна); б – відпрацьована за результатами аналізу; 1 – упор; 2 – ніж рухомий; 3 – знімач; 4 – ніж нерухомий; 5 – протівідтискач-упор

• з метою вибору геометричних параметрів нормалізованого блока, виконують ескізне (безмасштабне) компоновання штампа (рис. 5.16). Компактність конструкції штампа, а також симетричність навантаження напрямних вузлів досягається при використанні блока з їхнім осьовим розташуванням. Вибір напрямних вузлів ковзання в блоці обґрунтовується відносно великим оптимальним зазором між ножами ($Z_{онм} = 0,15$ мм, у той час як однібічний зазор між втулкою та колонкою у вузлі ковзання приблизно на порядок менший, що забезпечує нормальний напрямок ножів. Підраховують габарити робочої зони штампа, тобто розміри “дзеркала” $L \times B$ та висоту пакета H :

$$\begin{aligned} L &= b_{ш} + 4a; \\ B &= l + 2a + b + c; \\ H &= q + e + Z_{\delta}. \end{aligned}$$

Розмір a встановлюють із розрахунку можливості розташування кріпильних елементів та забезпечення надійного кріплення інструмента та допоміжних деталей штампа. З таблиці 5.3 для діаметра гвинта, що дорівнює 10 мм, приймаємо $a = 30$ мм.

Таблиця 5.3

Залежність розміру “а” від діаметра кріпильного виробу

Діаметр кріпильного виробу, мм	a , мм
6	15...20
8	20...25
10	25...30
12	30...35
16	35...40
20	40...45

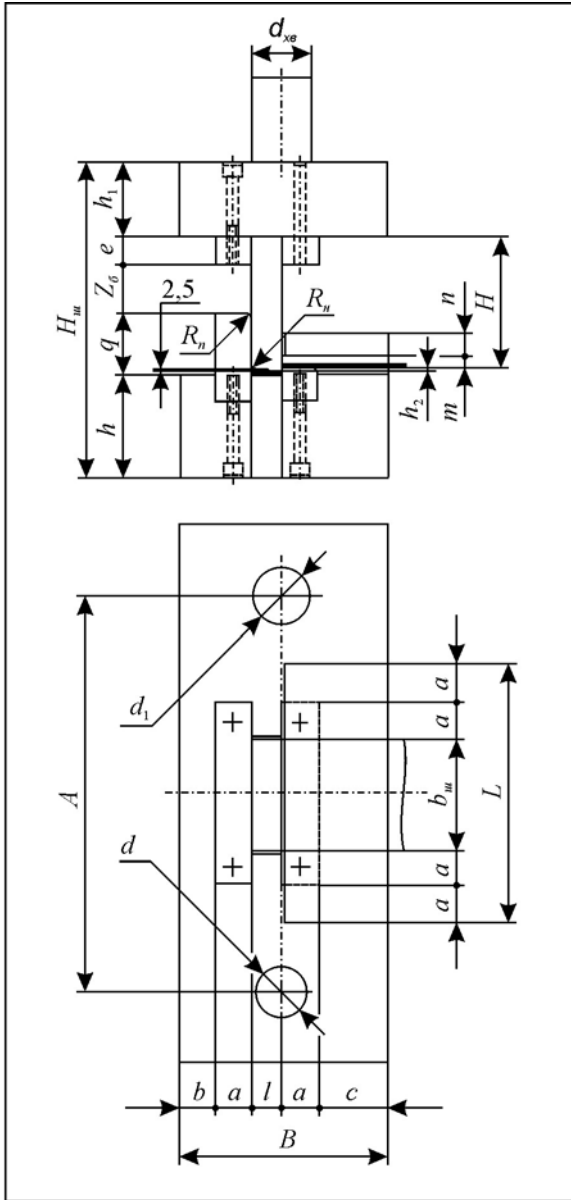


Рис. 5.16. Ескізна компоновка штампа для відрізування

Розмір b рекомендується приймати не менш розміру a . Приймають $b = a = 30$ мм.

Розмір c приймають із розрахунку забезпечення симетрії правої частини штампа відносно лівої (див. рис. 5.16, план низу). Приймають $c = 50$ мм.

Розмір $b_{ш}$ відповідає ширині штаби ($b_{ш} = 75$ мм).

Розмір q розраховують за формулою:

$$q = t + R_n + R_n - \Delta h + h_2 = 24,7 + 5 + 5 - 0,5 + 5 = 39,2 \text{ мм},$$

де h_2 – гарантована (найменша) відстань напрямлення рухомого ножа відносно притискача. Приймають $q = 40$ мм.

Розмір Z_6 – зазор безпеки. За вимогами стандарту, мінімальний зазор безпеки $Z_{6(min)}$ повинен бути не менш 25 мм. Але в зв'язку з тим, що при перешліфуванні ріжучих кромek розмір Z_6 зменшується на величину ΔZ , гарантований зазор безпеки визначають за формулою:

$$Z_6 = Z_{6(min)} + \Delta Z = 25 + 5 = 30 \text{ мм},$$

де ΔZ – найбільше можливе значення величини перешліфування ножів, що призначає конструктор. Звичайно, $\Delta Z = 5 \dots 6$ мм, тобто по 2,5...3 мм на кожний ніж.

Розмір e визначають у залежності від діаметра гвинтів d_2 , що з'єднують тримач із верхньою плитою з умови забезпечення рівномірності гвинта на відривання головки та різбової частини.

Останнє гарантується формулою:

$$e = 2d_2 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ мм}.$$

Розмір m визначають за формулою:

$$m = S + \Delta S + f + \Delta m = 3 + 0,7 + 1 + 3 = 7,7 \text{ мм},$$

де S – товщина матеріалу, що штампується; ΔS – величина можливої задирки; f – максимальний прогин штаби на ділянці $a + c$ (визначають з експериментальних даних або призначають конструктором); Δm – гарантований зазор між штабою й жорстким знімачем (приймають конструктивно в залежності від довжини штаби). Приймають $m = 8$ мм.

Розмір n визначають із розрахунку гарантованого розташування головки гвинта за товщиною знімача за формулою:

$$n = h_2 + \Delta n,$$

де h_2 – висота головки гвинта (діаметр та кількість гвинтів у даному випадку приймаються конструктивно). Для гвинта М10 із циліндричною головкою та внутрішнім шестигранним поглибленням під ключ $h_2 = 10$ мм; Δn – мінімальна товщина “дна”. Приймають $\Delta n = 5$ мм. Тоді:

$$n = 10 + 5 = 15 \text{ мм.}$$

Далі розраховують геометричні параметри робочої зони (пакета) штампа:

$$\begin{aligned} L &= 75 + 4 \cdot 30 = 195 \text{ мм;} \\ B &= 20 + 2 \cdot 30 + 30 + 50 = 160 \text{ мм;} \\ H &= 40 + 30 + 20 = 90 \text{ мм.} \end{aligned}$$

За розрахунковими розмірами $L \times B \times H$ вибирають нормалізований блок з осьовим розташуванням напрямних вузлів ковзання типу 1004 – 4801 ГОСТ 13126- ... , який має найближчі більші розміри $L \times B \times H_{min} = 200 \times 160 \times 95$ мм. З урахуванням рекомендованих розмірів нижньої ($h = 56$ мм) та верхньої ($h_1 = 50$ мм) плит блока визначають закриту висоту штампа:

$$H_{ш} = H + h + h_1 = 95 + 56 + 50 = 201 \text{ мм.}$$

Оскільки $H_{ш}$ лежить у межах визначених вище можливих закритих висот преса (180,3...225,3 мм), її значення приймають остаточо.

Зі стандарту вибирають інші розміри й технічні характеристики блока:

діаметр колонки	$d = 32$ мм;
діаметр колонки	$d_1 = 28$ мм;
міжцентрову відстань	$A = 300$ мм;
масу	$M = 58,82$ кг.

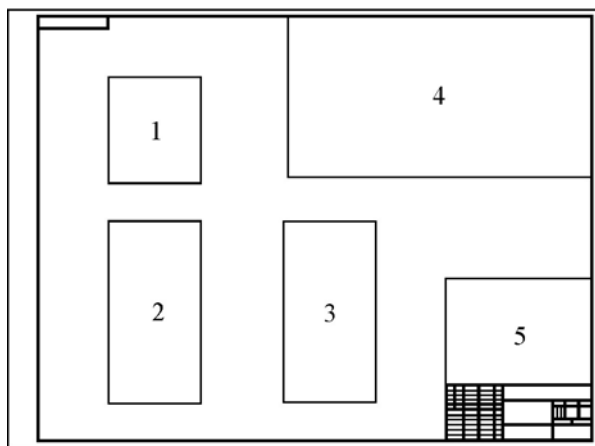
За прийнятими параметрами $L \times B \times H_{min}$ та типом блока вибирають плити:

верхня: плита 1022 – 4727 ГОСТ 13113-...;

нижня: плита 1022 – 4728 ГОСТ 13113-...;

та виписують їхні розміри (мм) у відповідності зі стандартним позначенням: $h = 25$, $A = 300$, $l = 25$, $l_1 = 90$, $l_2 = 160$, $r = 45$, $r_1 = 16$, $r_2 = 22$;

• виконують масштабне компоунання та складальне креслення штампа:



- визначають кількість та місце розташування на листах складального креслення основних та допоміжних проєкцій та інших зон, приймають рішення про кількість листів складального креслення (рис. 5.17);

Рис. 5.17. До масштабної компоунки штампа для відрізування: 1 – місце для головного розрізу; 2 – місце для плану низу; 3 – місце для виду на верхню плиту знизу; 4 – місце для операційного ескізу, схеми розкрою та технічних вимог на деталь; 5 – місце для технічних вимог на виготовлення та експлуатацію штампа

- викреслюють операційний ескіз та схему розкрою з технічними вимогами на деталь, що штампується;

- виконують тонкими лініями компоунання робочої зони штампа в певному масштабі на головному розрізі, плані низу та виді на верхню плиту знизу. Уточняють місця розташування кріпильних елементів та штифтів;

- викреслюють тонкими лініями контури блока на трьох проєкціях, а також напрямні вузли, з орієнтацією розташування геометричного центра блока й хвостовика в центрі тиску штампа;

- компонують захисну огорожу 1 (рис. 5.18) з витриманням зазорів безпеки, з метою забезпечення першої ступені безпеки. Умовний знак першого ступеня безпеки виконують на окремій табличці 12 у вигляді поглиблення діаметром 15 мм на жовтому фоні;

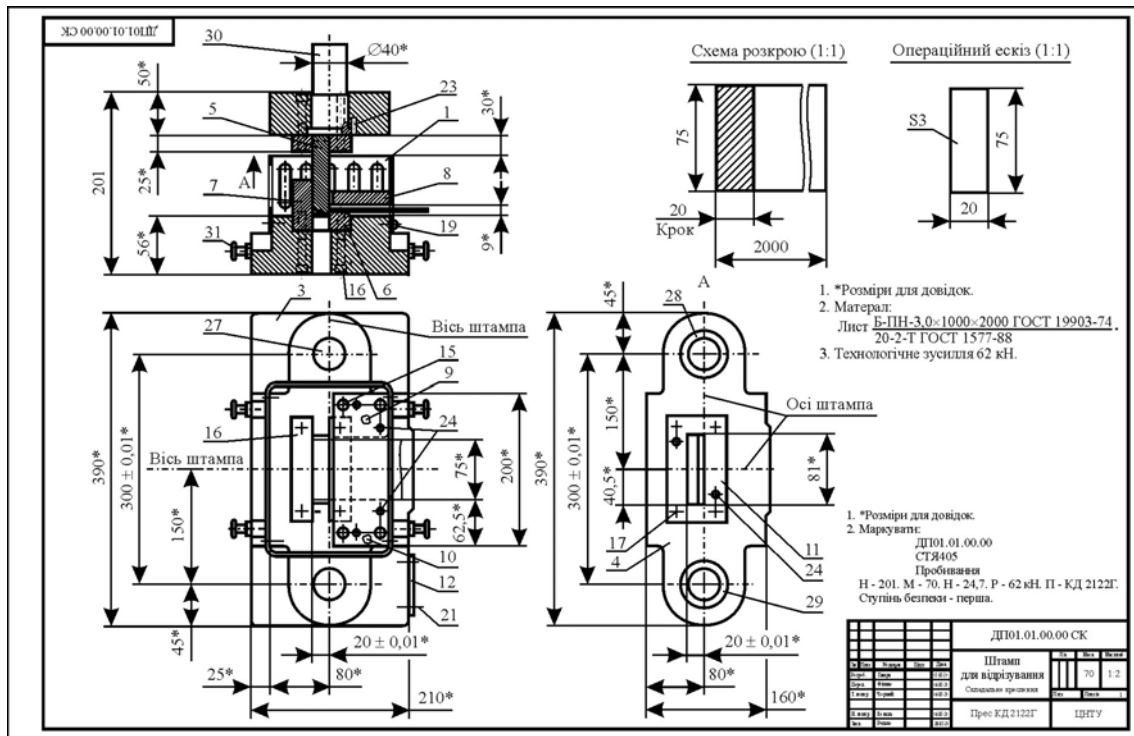


Рис. 5.18. Складальне креслення штампа для відрізування

- приймають рішення про необхідність розташування вантажних гвинтів 31, так як маса штампа більш 20 кг. Кількість та діаметр вантажних гвинтів установлюють за вантажо-підйомністю. Викреслюють вантажні гвинти на відповідних проекціях;
- наводять проекції лініями відповідної товщини, виконують штрихування розрізів;
- проставляють основні та додаткові розміри. Позначають додаткові розміри зірочкою;
- розробляють та записують технічні вимоги на виготовлення та експлуатацію штампа;
- виносять позиції та складають специфікацію штампа;
- остаточно оформляють складальне креслення штампа: наносять позначення проекцій, місця маркірування, заповнюють основний, а також додаткові написи.

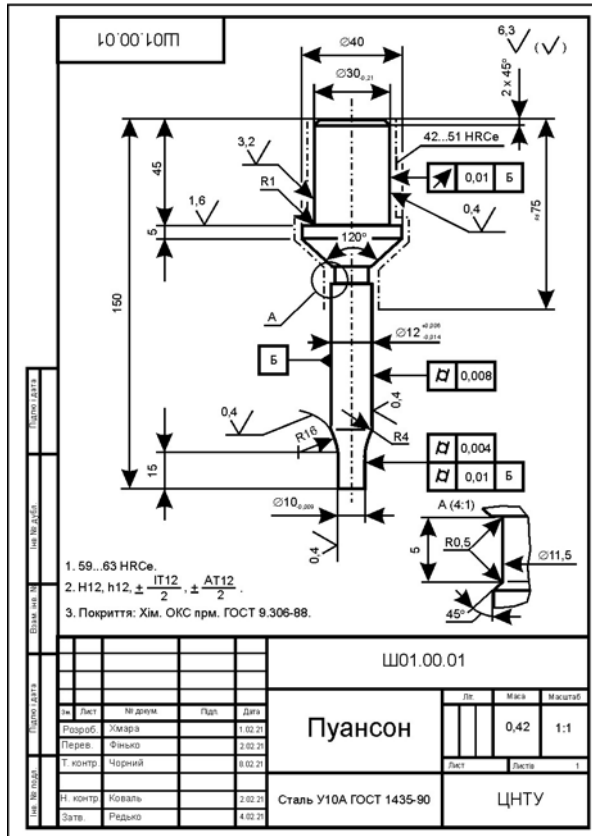
Правила оформлення креслення деталей штампа (деталювання штампа):

- деталі штампа, як правило, викреслюються в такому положенні, яке вони мають на складальному кресленні;
- бажано, щоб масштаб деталей збігався з масштабом складального креслення. При цьому окремі дрібні та не зрозумілі місця деталі збільшують за допомогою місцевих видів, з метою постановки розмірів;
- кількість проекцій та видів повинно бути мінімальним, і визначається можливістю постановки всіх розмірів;
- розміри деталей проставляють із певною точністю, що регламентується відповідним квалітетом;
- шорсткість обробленої поверхні проставляється безпосередньо біля розміру;
- у правому верхньому куту креслення наводиться інформація про не вказану шорсткість обробки поверхонь деталі;
- вище основного надпису (кутового штампа) наводяться технічні вимоги щодо виготовлення деталі в наступній послідовності. Першим пунктом вимог, як правило, є інформація про термічну обробку, наприклад:

1. 58...61 HRCe.

У другому пункті наводиться інформація про не вказане межове відхилення розмірів, наприклад:

$$2. H12, h12, \pm \frac{IT12}{2}.$$



У третьому пункті вказується покриття, наприклад:

3. Покриття: Хім. ОКС прм. ГОСТ 9.306-88.

Наступні пункти не регламентуються, і наводяться конструктором при необхідності;

- в основному надпису вказується: назва та позначення деталі у відповідно зі специфікацією; матеріал для виготовлення деталі; масштаб креслення; маса деталі, кількість листів креслення, номер листа креслення, інформація про назву організації (підприємства), що розробляє дане креслення; прізвища, підписи та дати: розробника; особи, що перевірила креслення; особи, що здійснила нормоконтроль; особи, що затвердила креслення (керівника відділу, кафедри тощо).

Приклад оформлення робочого креслення деталі штампа наведено на рис. 4.25.

Рис. 5.19. Робоче креслення пуансона найпростішого штампа

5.4. Типові конструкції штампів:

- штамп для вирубання малогабаритної деталі проектується за схемою: пуансон – угорі, матриця – унизу, причому вилучення деталі зі штампа здійснюється за рахунок гравітації крізь провальний отвір у столі преса (рис. 5.20);

- штамп для вирубання великогабаритної деталі проектується за схемою: пуансон – унизу, матриця – угорі, причому вилучення деталі зі штампа (матриці) на штабу здійснюється верхнім виштовхувачем. Пуансон та матриця виконуються складеної конструкції (рис. 5.21);

- штамп для пробивання отворів у горизонтальній площині проектується із застосуванням клинових приводів для переміщення інструмента (рис. 5.22);

- штамп послідовно-суміщеної дії для відрізування штаби та пробивання двох отворів (див. рис. 4.19);

- штамп суміщеної дії для висікання та просікання деталі з картону (ножовий штамп) проектується з верхнім виштовхувачем, що може мати привод від центральної пружини стиснення (рис. 5.23);

- штамп для завивання петлі (див. рис. 3.11);

- штампи для гнуття (завивання) втулки (рис. 5.24);

- штамп суміщеної дії для вирубання, витягування, пробивання проектується за схемою: вирубний пуансон – угорі, вирубна матриця – унизу, причому штамп постачається двома пуансон-матрицями (рис. 5.25);

- штампи послідовної дії для штампування в стрічці проектується за двома схемами: з формоутворенням об'ємної частини деталі нижче штаби (рис. 5.26) та з формозміною об'ємної частини деталі вище штаби (рис. 5.27).

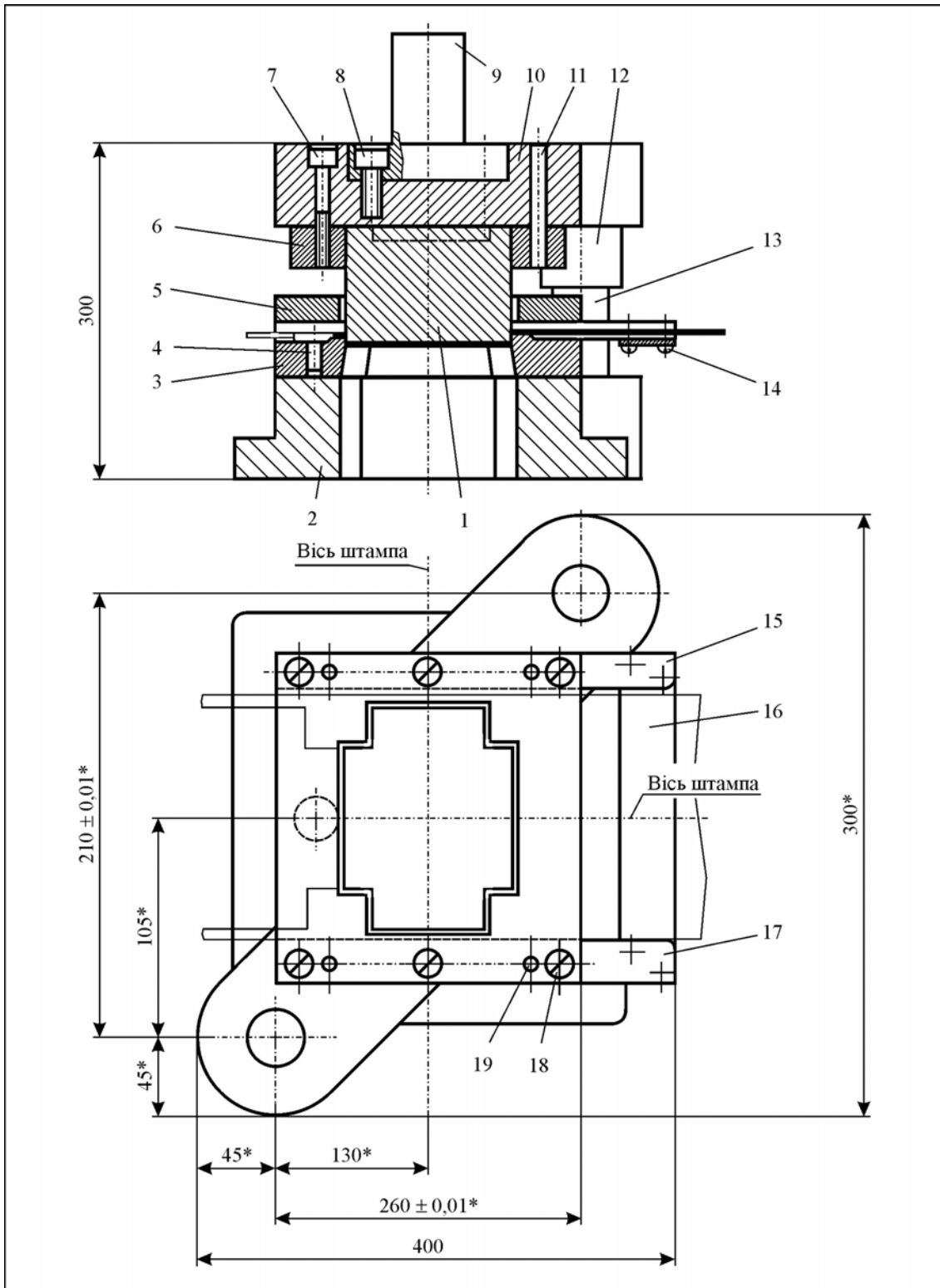


Рис. 5.20. Штамп для вирубівання малогабаритної деталі: 1 – пуансон; 2 – нижня плита; 3 – матриця; 4 передній упор; 5 – жорсткий знімач; 6 – пуансонотрмач; 7, 8, 14, 18 – гвинти; 9 – хвостовик; 10 – верхня плита; 11, 19 – штифти; 12 – втулка; 13 – колонка; 15, 17 – напрямні планки; 16 – опорна планка

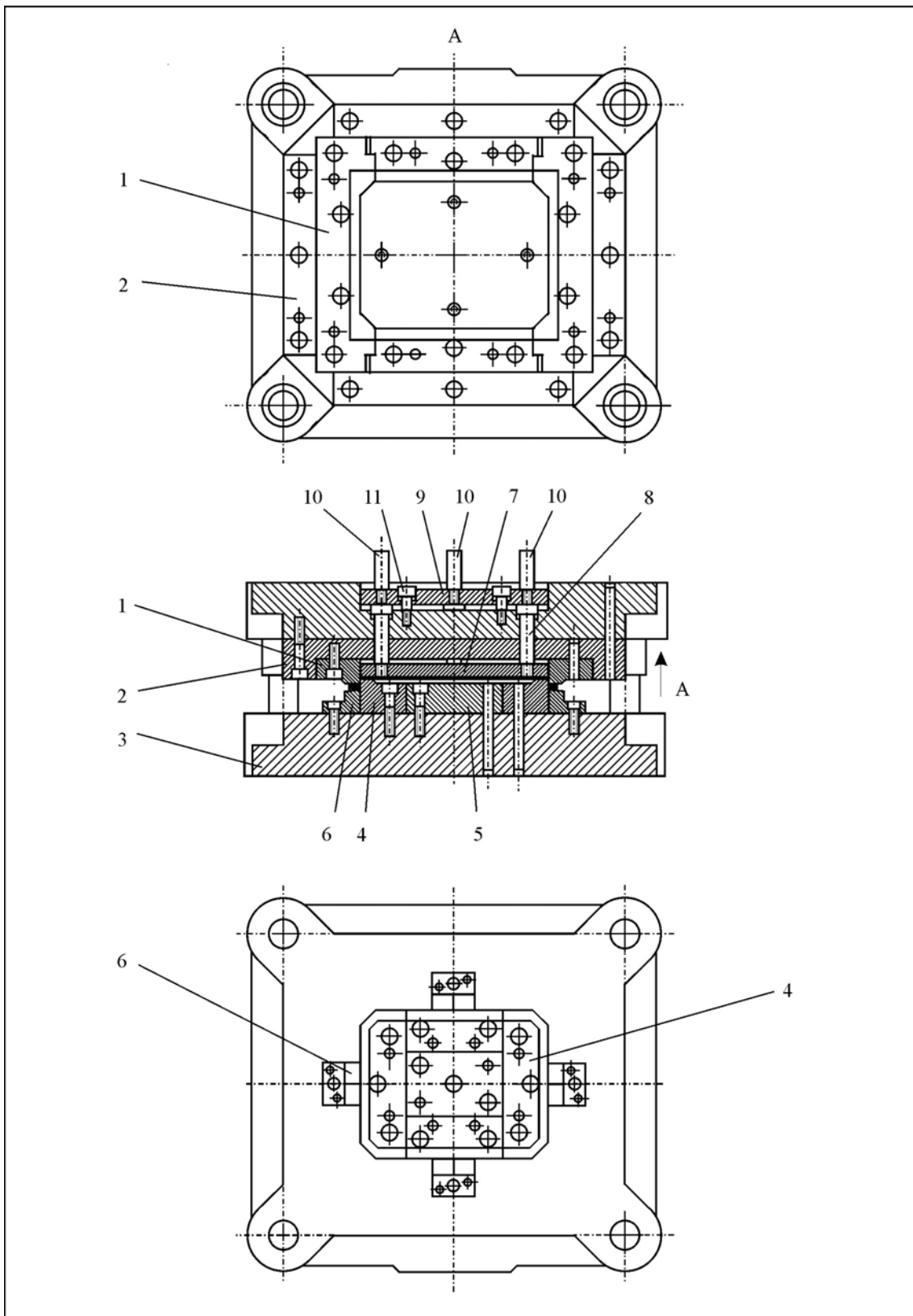


Рис. 5.21. Штамп для вирубвання великогабаритної деталі: 1 – секційна матриця; 2 – обойма; 3 – нижня плита; 4 – секційний пуансон; 5 – базова планка; 6 – ніж; 7 – виштовхувач; 8 – штовхач; 9 – траверса; 10 – штовхачі

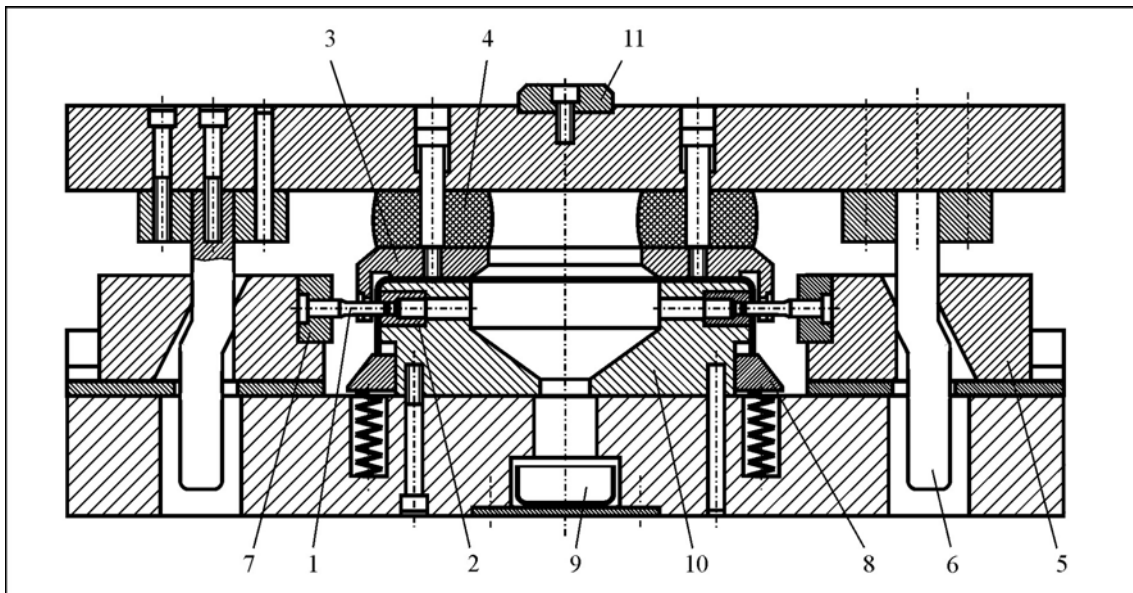


Рис. 5.22. Штмп для пробивання отворів у бічних стінках коробчатої великогабаритної деталі із застосуванням клинових приводів інструмента. Конструктивне виконання притискача-знімача: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – притискач-знімач; 4 – буфер; 5 – вовзушка; 6 – клин; 7 – пуансонотримач; 8 – знімач; 9 – лоток; 10 – матрицетримач; 11 – центрошукач

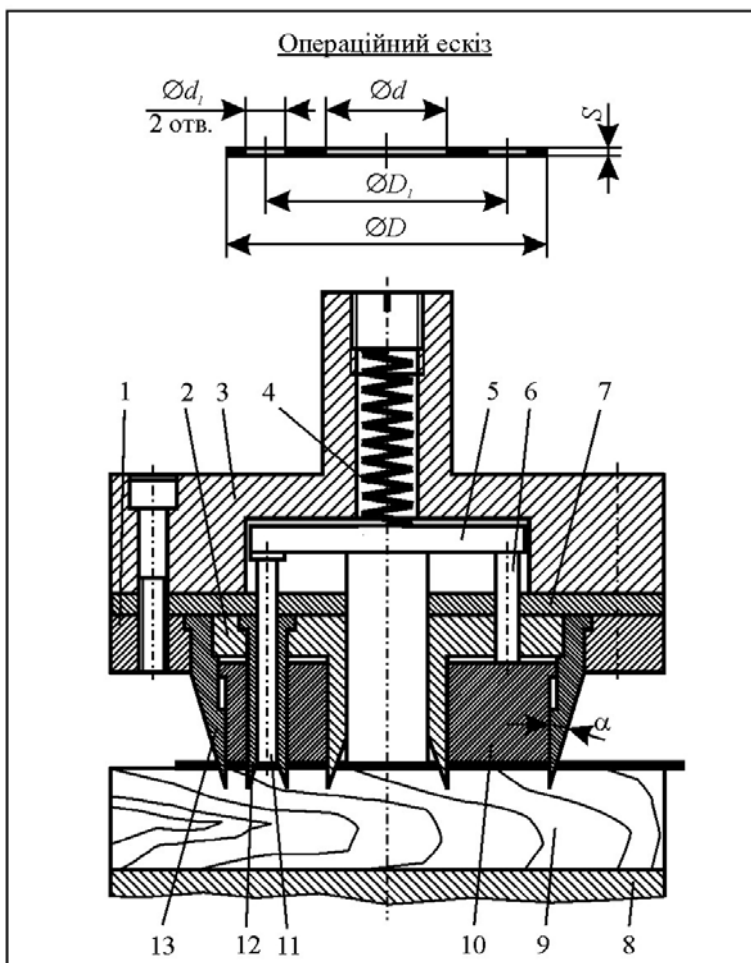


Рис. 5.23. Штмп суміщеної дії для висікання та просікання деталі із картону:

- 1 – тримач;
- 2 – тримач;
- 3 – хвостовик-плита;
- 4 – пружина;
- 5 – траверса-виштовхувач;
- 6 – штовхач;
- 7 – підкладна плитка;
- 8 – нижня плитка;
- 9 – дерев'яна дошка;
- 10, 11 – виштовхувачі;
- 12 – просічний пуансон;
- 13 – висічний пуансон

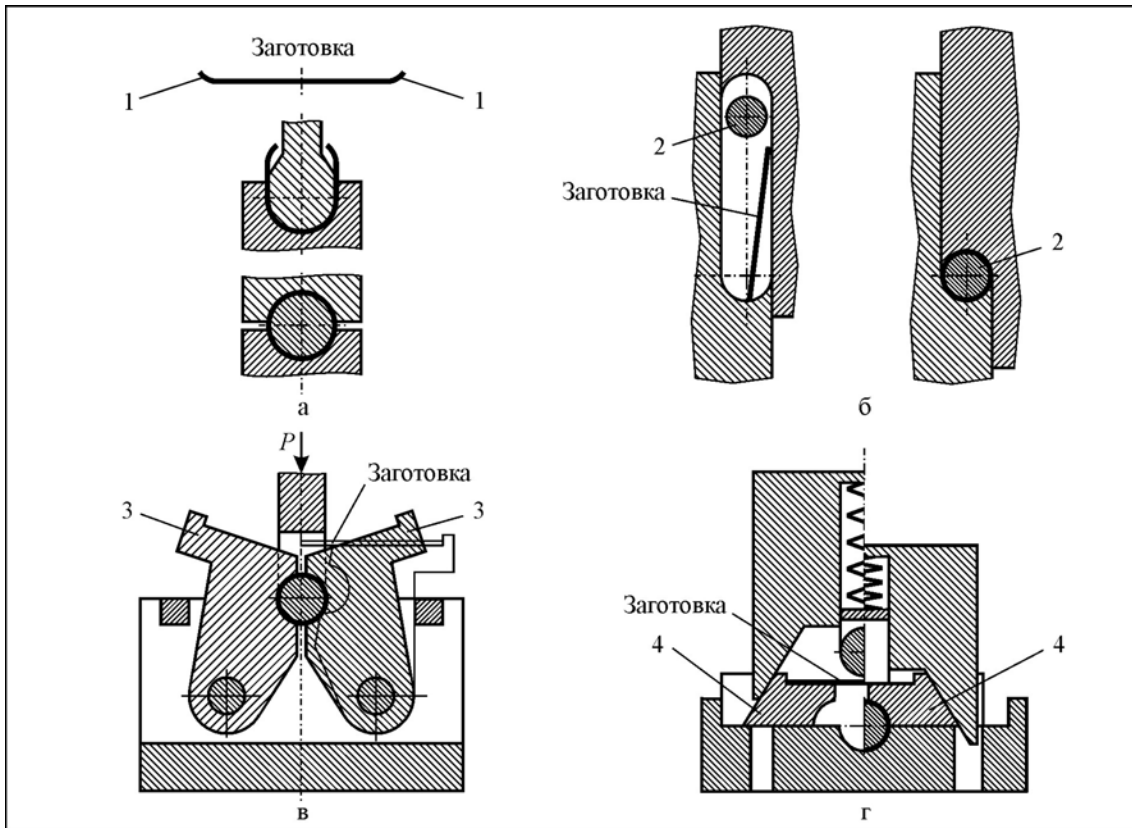


Рис. 5.24. Схеми штампів для гнуття (завивання) втулок з використанням: а – переднього гнуття кінців 1; б – оправки 2; в – поворотних напівматриць 3; 4 – клинових напівматриць 4

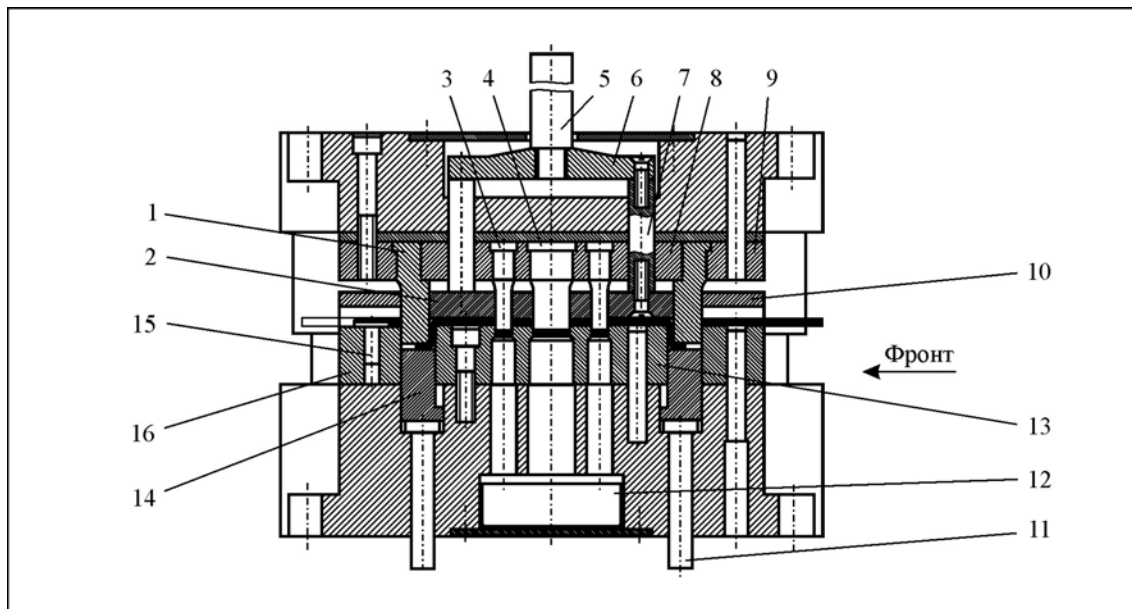


Рис. 5.25. Штмп сумщеної дії для вирубування, витягування та пробивання: 1, 13 – пуансон-матриця; 2 – виштовхувач; 3, 4 – пробивні пуанسونи; 5, 7, 11 – штовхачі; 6 – траверса; 8 – пуансонотримач; 9 – тримач; 10 – жорсткий знімач; 12 – лоток; 14 – притискач-виштовхувач; 15 – упор; 16 – вирубна матриця

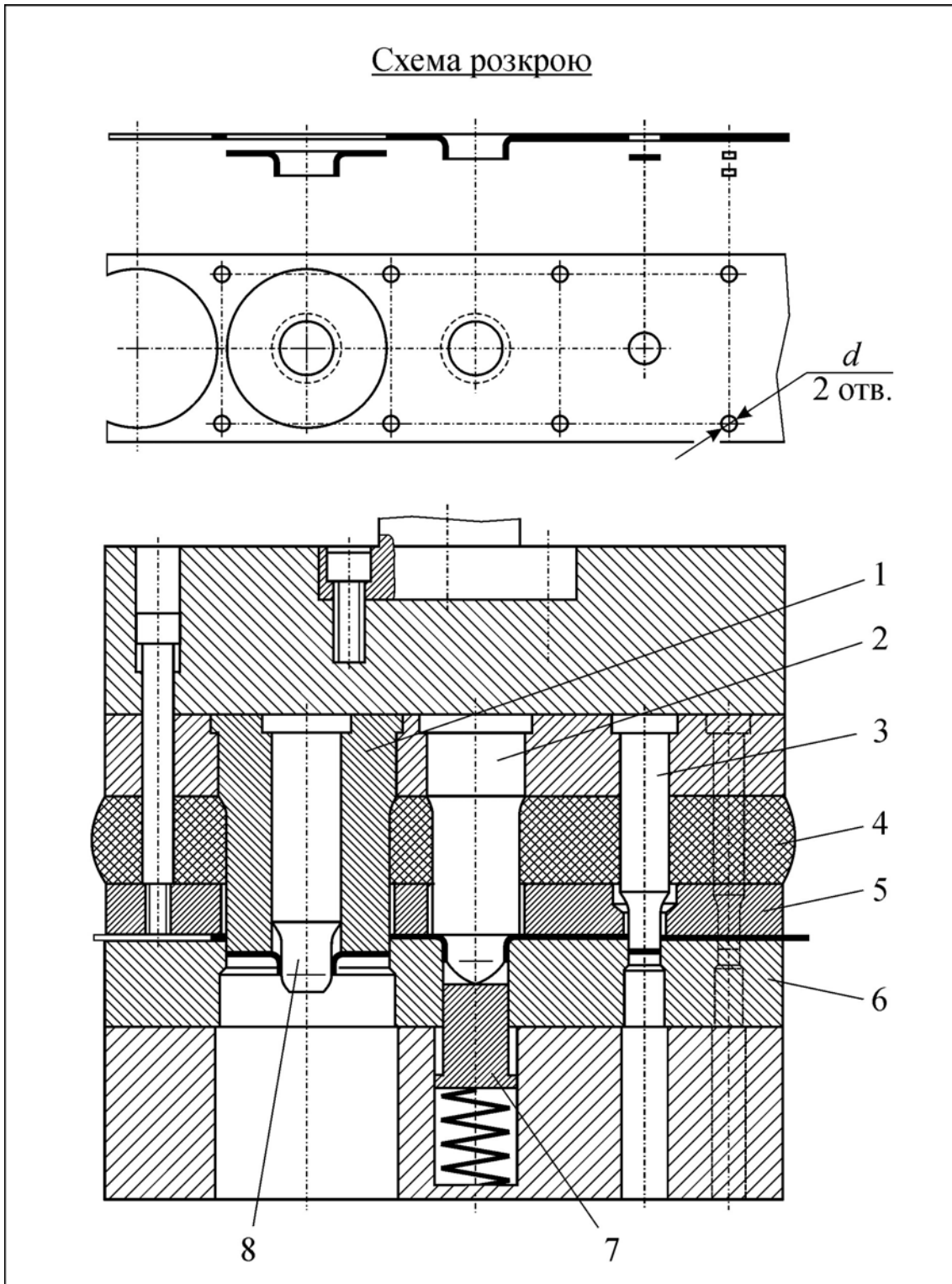


Рис. 5.26. Штамп послідовної дії для пробивання, відбортуння та вирубуння з формоутворенням об'ємної частини деталі нижче стрічки: 1 – вирубний пуансон; 2 – пуансон для відбортуння; 3 – пробивний пуансон; 4 – буфер; 5 – верхній рухомий знімач; 6 – матриця; 7 – виштовхувач; 8 – фіксатор

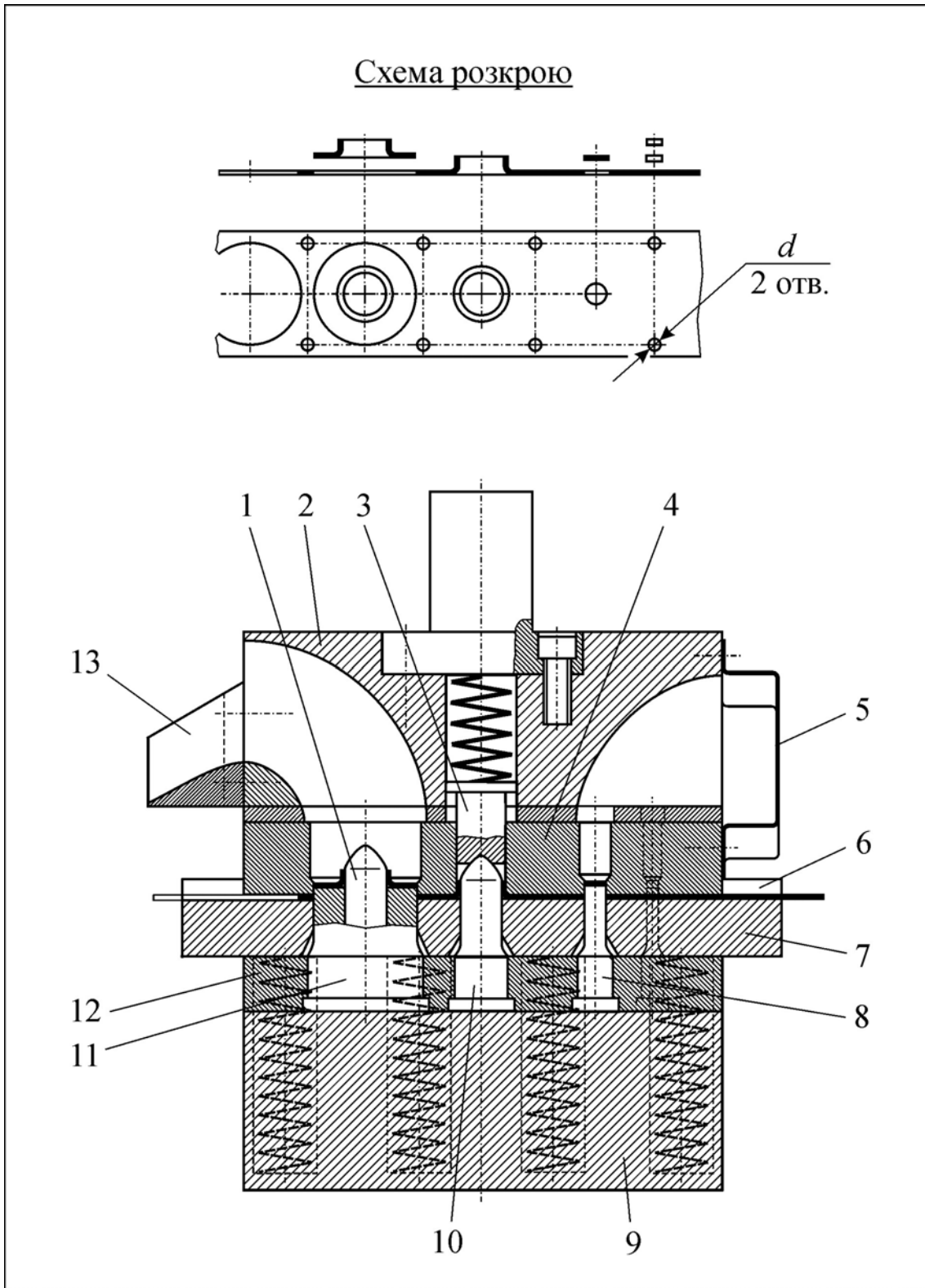
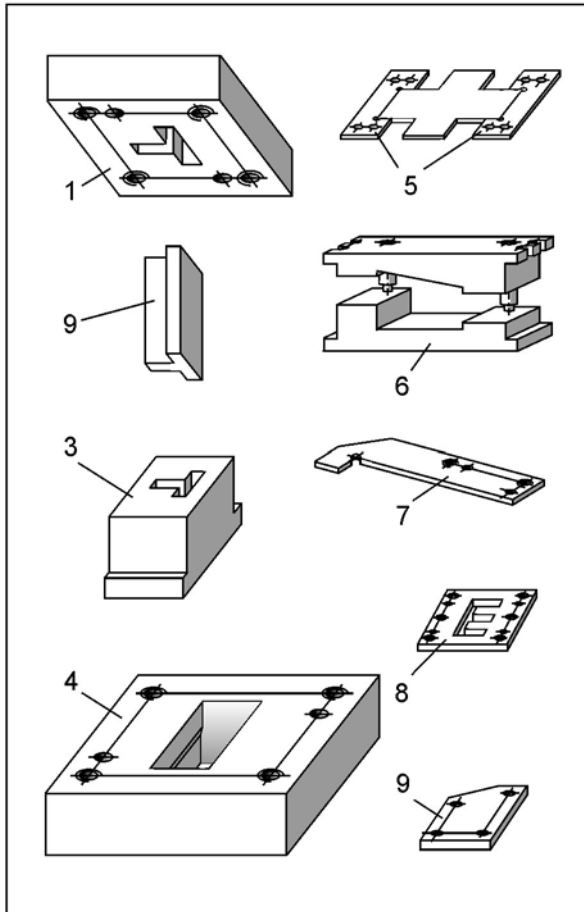


Рис. 5.27. Штамп послідовної дії для пробивання, відбортування та вирубання з формоутворенням об'ємної частини деталі вище стрічки: 1 – фіксатор; 2 – верхня плита; 3 – виштовхувач; 4 – матриця; 5, 13 – лотки; 6 – напрямна планка; 7 – знімач; 8 – пробивний пуансон; 9 – нижня плита; 10 – пуансон для відбортування; 11 – вирубний пуансон; 12 – пуансонотрмач

5.5. Нормалізовані та оригінальні деталі штампів

Штамп являє собою складальну одиницю, у яку можуть входити дві групи принципово різних вузлів і деталей.



До першої групи мають відношення *оригінальні* вузли та деталі. Їхня форма безпосередньо або посередньо зв'язана з геометричними параметрами виробу (заготовки), що штампується, чи визначається ними. Прикладами їх можуть бути (рис. 5.28): пуансонотримач фігурного пуансона 1, фігурний пуансон 2, фігурна матриця 3, матрицетримач фігурної матриці 4, трафарет для орієнтації деталі за контуром 5, спеціальний блок 6, спеціальний упор 7, фігурний знімач 8, підкладна плитка оригінального пуансонотримача 9 та інші. При проектуванні штампів на ці вузли та деталі розробляють конструкторську документацію, і виконують необхідні розрахунки на міцність.

Рис. 5.28. Оригінальні вузли та деталі штампів

До другої групи належать *нормалізовані* вузли та деталі. Їхня форма постійна для будь-яких штампів, не залежить від геометричних параметрів виробу й установлюється державним (ГОСТ, ДОСТ), галузевим (ОСТ) стандартами, або стандартами підприємства (СТП). Прикладом їх можуть бути блоки, напрямні вузли, хвостовики, транспортні штирі, вантажні гвинти), пуансони, матриці, державки, підкладні плитки, шпонки,

крокові ножі, ножі для відрізування відходів, упори, притискачі, фіксатори, траверси, штовхачі, ступінчасті гвинти, буфери, пружини, кріпильні вироби та інші деталі та вузли. Вони не проектуються, а лише використовуються в конструкціях, що дозволяє підвищити рівень уніфікації штампів, а отже, зменшити їхню вартість. Вибір нормалізованих деталей та вузлів здійснюється за додатковими матеріалами (нормаліями, стандартами).

Нижче приводиться технічна інформація про нормалізовані вузли та деталі, що найбільш частіше зустрічаються.

Блоки штампів призначені для кріплення пакета (комплекту деталей, що забезпечує виконання операцій штампування) та взаємного позиціонування робочих елементів на верхній та нижній частинах штампа.

Стандартні блоки складаються з верхньої та нижньої плит і напрямних вузлів, що їх поєднують. Іноді вони постачаються із транспортними штирями. З точки зору кількості та місця розташування напрямних вузлів, розрізняють такі види стандартних блоків штампів:

- блок із діагональним розташуванням напрямних вузлів (рис. 5.29, а);
- блок із заднім розташуванням напрямних вузлів (рис. 5.29, б);
- блок з осьовим розташуванням напрямних вузлів (рис. 5.29, в);
- блок із чотирма напрямними вузлами (рис. 5.29, г).

Дані блоки постачаються з напрямними вузлами ковзання або кочення.

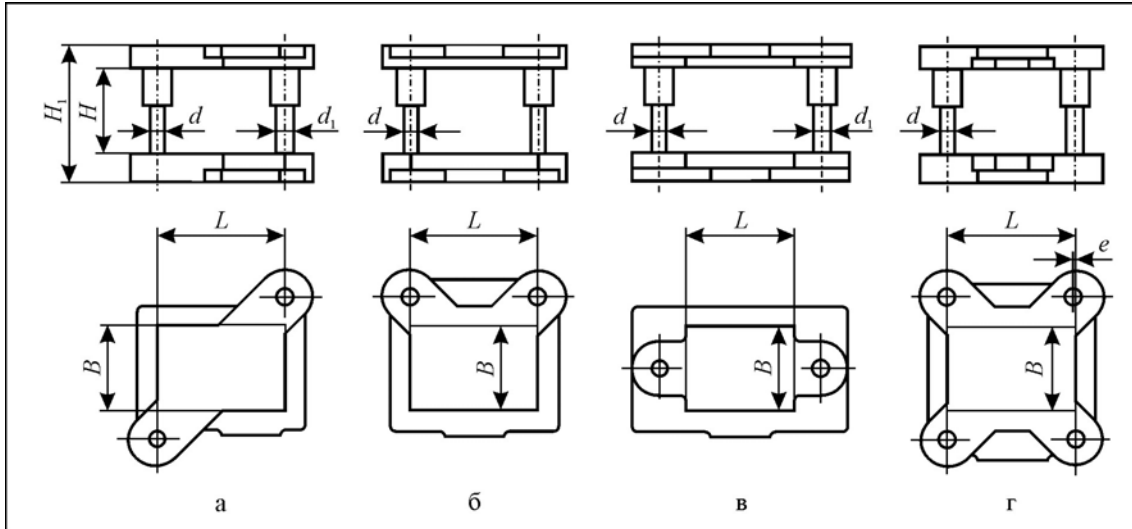


Рис. 5.29. Види стандартних блоків штампів

Напрямні вузли. Стандартні напрямні вузли призначені для рухомого з'єднання верхньої та нижньої, а іноді й проміжної плит штампа, і можуть бути використані не тільки в стандартних, але й в оригінальних блоках. Крім того, вони застосовуються для рухомого з'єднання елементів змінних пакетів штампів.

У залежності від конструктивного виконання розрізняють напрямні вузли ковзання (рис. 5.30) та кочення (рис. 4.37). Останні отримали назву кулькових.

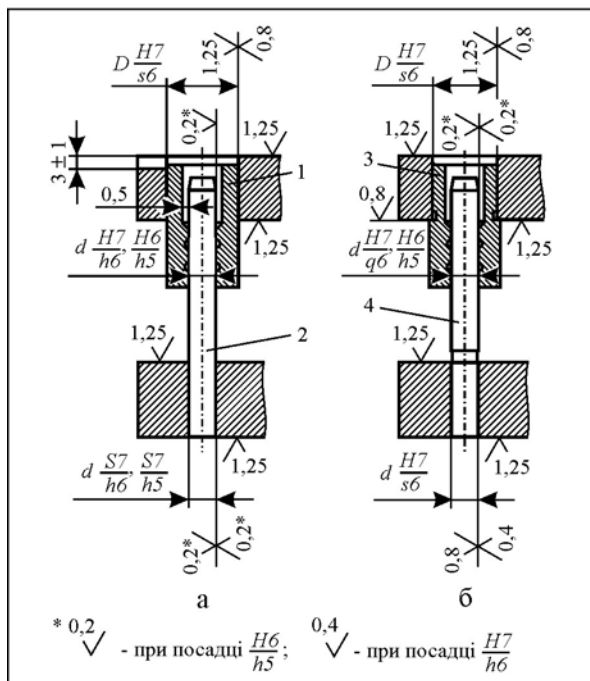


Рис. 5.30. Стандартні напрямні вузли ковзання: а – із гладкою колонкою і втулкою; б – із ступінчастою колонкою і втулкою; 1 – втулка по ГОСТ 13120-...; 2 – колонка по ГОСТ 13118-...; 3 – втулка по ГОСТ 13121-...; 4 – колонка по ГОСТ 13119-...

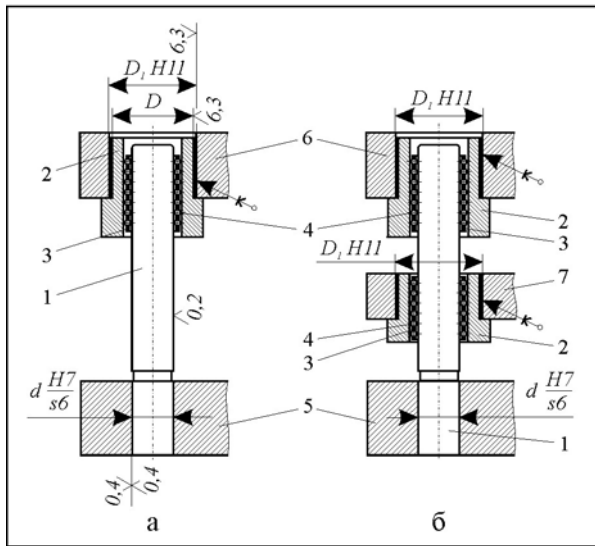
У напрямних вузлах ковзання між колонкою й втулкою є гарантований зазор у декілька сотих часток міліметра. Тому їх використовують у штампах для будь-яких операцій листового штампування, у тому числі й для розділових, при двобічному зазорі між сталевим пуансоном та матрицею більш 0,026 мм, та між твердосплавними – більш 0,1 мм. А кулькові напрямні вузли – беззазорні, що забезпечується гарантованим натягом між кульками та колонкою від 0,006 до 0,015 мм. Тому їх використовують переважно для розділових операцій при двобічному зазорі між сталевим розділовим інстру-

ментом до 0,026 мм та між твердосплавним – до 0,1 мм.

Напрямні вузли ковзання із гладкими колонками та втулками (рис. 5.30, а) застосовуються в стандартних блоках. Проста (безступінчата) форма колонок та втулок зменшує трудомісткість їхнього виготовлення. Характерно, що посадка натягу в місці запресування колонки в нижню плиту в цих вузлах виконана в системі вала. Тому обробка отвору під колонку в нижній плиті блока потребує використання спеціального інструмента.

Напрямні вузли ковзання зі ступінчастою формою колонок та втулок (рис. 5.30, б) застосовуються в оригінальних блоках. Усі посадки в цих вузлах, у тому числі посадка натягу в місці з'єднання колонки з нижньою плитою, виконані в системі отворів, а тому, при виготовленні

отворів під втулки та колонки в плитах, не потребується застосування спеціального ріжучого інструмента. Це доцільно з економічної точки зору в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва.



Напрямні вузли кочення (рис. 5.31) застосовуються як в стандартних, так і в оригінальних блоках прецизійних розділових штампів. Вони складаються із колонки 1, втулки 2, сепаратора 3 та кульок 4. Колонка 1 закріплюється в плиті 5 методом запресування, а втулка 2 – методом вклеювання. Клей при ствердінні не змінює розміру зовнішнього діаметра втулки, а тому передбачений натяг між колонкою та кульками зберігається.

Рис. 5.31. Стандартні напрямні вузли кочення (кулькові) по ГОСТ 14676-...: а – виконання 1 (без проміжної плити); б – виконання 2 (із проміжної плитою); 1 – колонка; 2 – втулка; 3 – сепаратор; 4 – кулька; 5 – нижня плита; 6 – верхня плита; 7 – проміжна плита

Хвостовики. Хвостовики призначені для кріплення верхньої (рухомої) частини штампа до повзуна преса й знаходять застосування на кривошипних пресах зусиллям до 1000 кН.

У залежності від конструктивного виконання принципово розрізняють стандартні хвостовики з жорстким кріпленням до штампа та рухомим. Державними стандартами передбачено п'ять основних видів хвостовиків:

- із буртиком по ГОСТ 16715-... (рис. 5.32);
- з різьбою по ГОСТ 16716-... (рис. 5.33);
- з різьбою та буртиком по ГОСТ 16717-... (рис. 5.34);
- із фланцем по ГОСТ 16718-... (рис. 5.35);
- плаваючий по ГОСТ 16719-... (рис. 5.36).

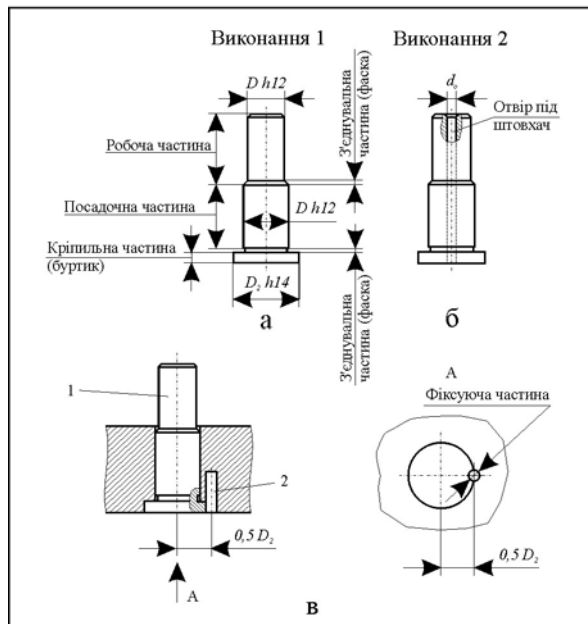


Рис. 5.32. Хвостовики з буртиком: 1 – хвостовик; 2 – штифт $6m \times 14$

Стандартні хвостовики складаються із трьох основних частин (робочої,

кріпильної й фіксуєчої) та однієї допоміжної (з'єднувальної).

Робоча частина призначена для кріплення хвостовика до повзуна преса за рахунок притиснення по циліндричній поверхні спеціальним притискним механізмом. Вона завжди виконується у вигляді циліндричного стержня.

Кріпильна частина призначена для кріплення хвостовика до верхньої плити штампа. Вона може бути конструктивно виконана у вигляді буртика, різьбового стержня, або фланцю з отворами для кріпильних гвинтів.

З'єднувальна частина призначена для сполучення суміжних основних частин хвостовика. Вона може бути конструктивно виконана у вигляді фаски, проточки під кругле зовнішнє шліфування, проточки під зовнішню метричну різьбу, а також галтелі.

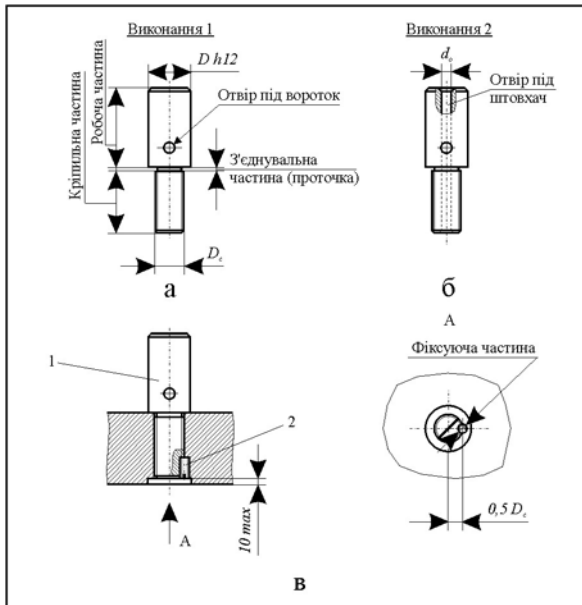


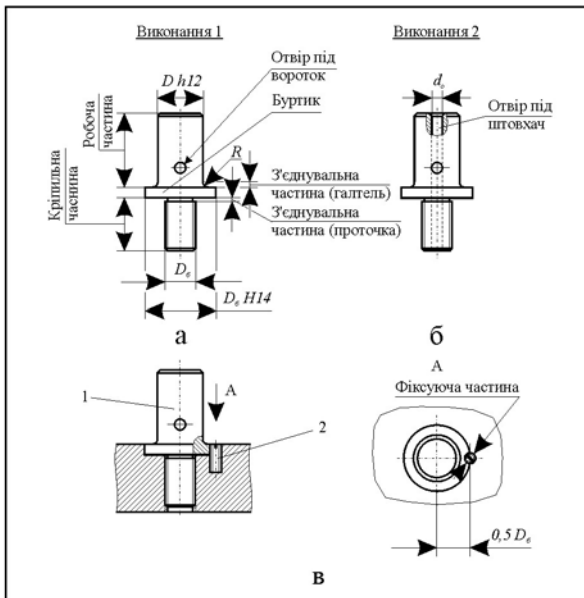
Рис. 5.33. Хвостовики з різьбою: 1 – хвостовик; 2 – гвинт М6 × 14

Фіксуєча частина призначена для фіксування хвостовика або елементів його кріплення відносно верхньої плити штампа. У залежності від виду, хвостовики фіксуються від можливості повороту чи спонтанного відкручування в момент сходу напрямних втулок із колонок таким чином:

- хвостовики з буртиком – за допомогою штифта, який установлюється при складанні. Спільний отвір під штифт у фланці хвостовика та верхній плиті виготовляється методом сумісного свердлення й подальшого розвертування, як показано на рис. 5.32, в;

- хвостовики з різьбою, та з різьбою й буртиком – за допомогою гвинтів М6 × 14. 58 по ГОСТ 1477-..., які також установлюються при складанні. Спільний різьбовий отвір під гвинт у хвостовику й верхній плиті виготовляється методом сумісної обробки.

Рис. 5.34. Хвостовики з різьбою і буртиком: 1 – хвостовик; 2 – гвинт М6 × 14



Виключенням є плаваючі хвостовики, які не фіксуються від можливого повороту. Їхня вісь може нахилитися на кут у декілька градусів відносно осей напрямних вузлів штампа, що дозволяє зменшити чи компенсувати пружні деформації станини пресу в момент штампування, і тим самим зменшити радіальне навантаження колонок та підвищити точність, і якість штампування. Сходження напрямних втулок із колонок при експлуатації штампів із плаваючими хвостовиками не допускається.

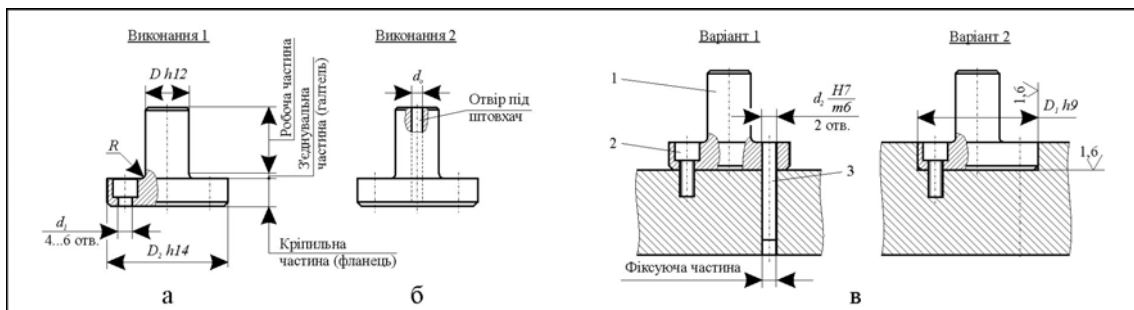


Рис. 5.35. Хвостовики з фланцем: 1 – хвостовик; 2 – гвинт; 3 – штифт

Відносно рекомендацій щодо застосування стандартних хвостовиків, треба пам'ятати:

- хвостовики з буртиком шліфуються з нижнього торця разом (у складеному вигляді) з верхньою плитою, а тому безпосередньо в них можуть упиратися пуанси. Але демонтаж

хвостовиків зі штампів (наприклад, для переточування пуансонів) можна здійснити лише при попередньому демонтажі пуансонотримачів, що не завжди доцільно;

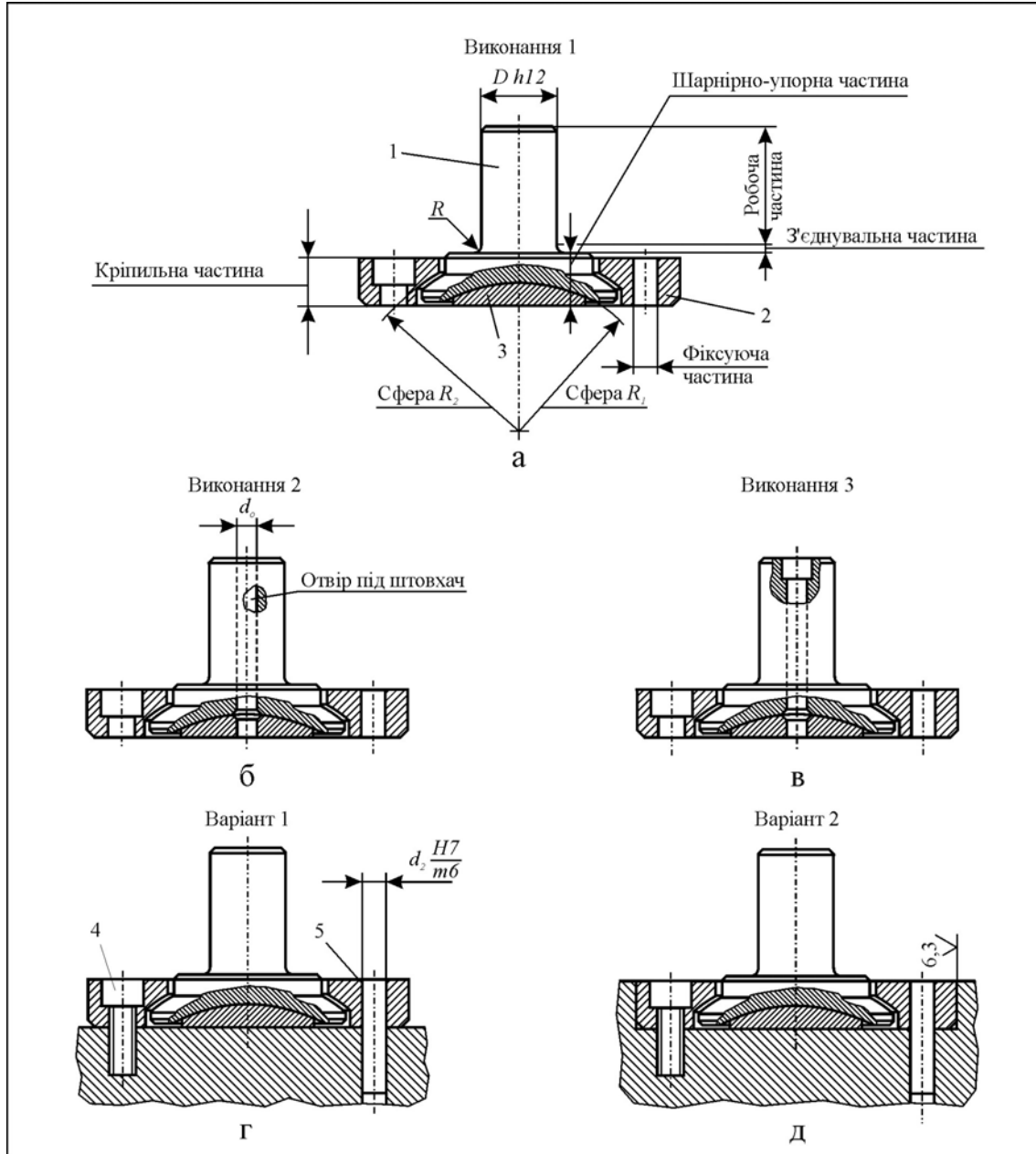


Рис. 5.36. Хвостовики плаваючі: 1 – хвостовик; 2 – фланець; 3 – підп'ятник; 4 – гвинт; 5 – штифт

- хвостовики з різьбою ніколи не вкручуються у верхню плиту на повну товщину, і тому утворюють порожнину глибиною до 10 мм між верхньою поверхнею пуансонотримача та їхньою торцевою поверхнею. Із цієї причини вони застосовуються в штампах, що мають відносно масивні та міцні пуанسونи, які перекривають дану порожнину, або потребують використання підкладних плиток. Демонтаж хвостовиків завжди пов'язано з демонтажем пуансонотримачів;

- хвостовики з різьбою й буртиком, аналогічно як і хвостовики з різьбою, мають порожнину між верхньою поверхнею пуансонотримача та їхньою нижньою торцевою поверхнею, а тому мають аналогічну область застосування. Але перевага їх є в тому, що демонтаж даних хвостовиків здійснюється без демонтажу інших деталей штампа;

- хвостовики із фланцем не обмежують місця розміщення пуансонів під верхньою плитою, демонтуються без демонтажу інших деталей штампа й можуть установлюватися на верхні плити,

де є центральні глухі або наскрізні отвори (наприклад, отвір під розміщення пружини верхнього виштовхувача). Їхні основні вади – нетехнологічність виготовлення (великий об'єм металу, що йде в стружку) та велика металоємність;

- плаваючі хвостики рекомендується застосовувати для розділових і переважно прецизійних штампів із незміщеним відносно осі штампа центром тиску при двобічному зорі між пуансоном та матрицею до 0,1 мм.

Вантажні гвинти призначені для транспортування штампів, їхніх вузлів та деталей масою більш 20 кг за допомогою цехових підіймно-транспортних засобів.

Із стандартних вантажних гвинтів розрізняють гвинти-цапфи (рис. 5.37) та рим-болти (рис. 5.38).

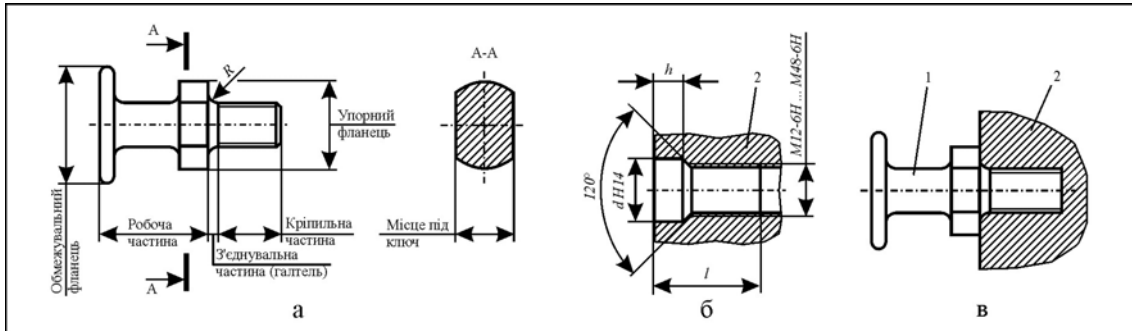


Рис. 5.37. Гвинт-цапфа: а – конструктивні елементи; б – місце для установки; в – приклад установки; 1 – гвинт-цапфа; 2 - плита

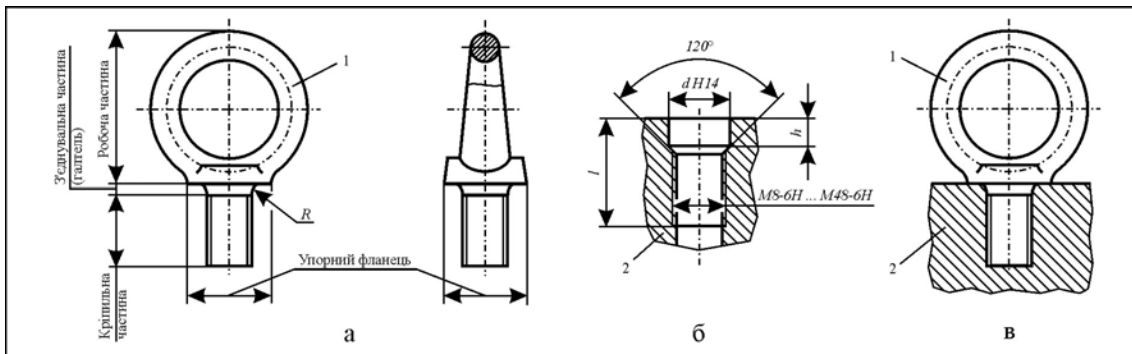


Рис. 5.38. Рим-болт: а - конструктивні елементи; б – місце для установки; в – приклад установки; 1 – рим-болт; 2 – плита або будь-яка важка деталь штампа

Пуансони. Стандартні пуансони призначені, головним чином, для пробивання в заготовках круглих, квадратних, продовгуватих та поздовжньо-продовгуватих отворів обмежених розмірів. Іноді їх застосовують для вирубання дрібних деталей за контуром.

У залежності від конструктивного виконання розрізняють не швидкозмінні (наприклад, рис. 5.39) та швидкозмінні (наприклад, рис. 5.40) стандартні пуансони.

Для заміни не швидкозмінного пуансона треба попередньо демонтувати штамп із преса, зняти зі штампа верхню частину, демонтувати пуансонотримач або стандартну державку, і випресувати пуансон, а встановлення пуансона робити в зворотному порядку.

Заміна швидкозмінного пуансона для гвинтового кріплення (рис. 5.40) здійснюється безпосередньо на закріпленому на пресі штампі у верхньому положенні повзуна. Для цього необхідно відкрутити стопорний гвинт 5, захопити пуансон за проточку обценьками з подовженими ручками та стукаючи по ручкам молотком, прикласти до пуансона осьове зусилля знімання. При встановленні швидкозмінний пуансон забивають знизу в пуансонотримач або державку 2 до упору, а далі закріплюють стопорним гвинтом 5.

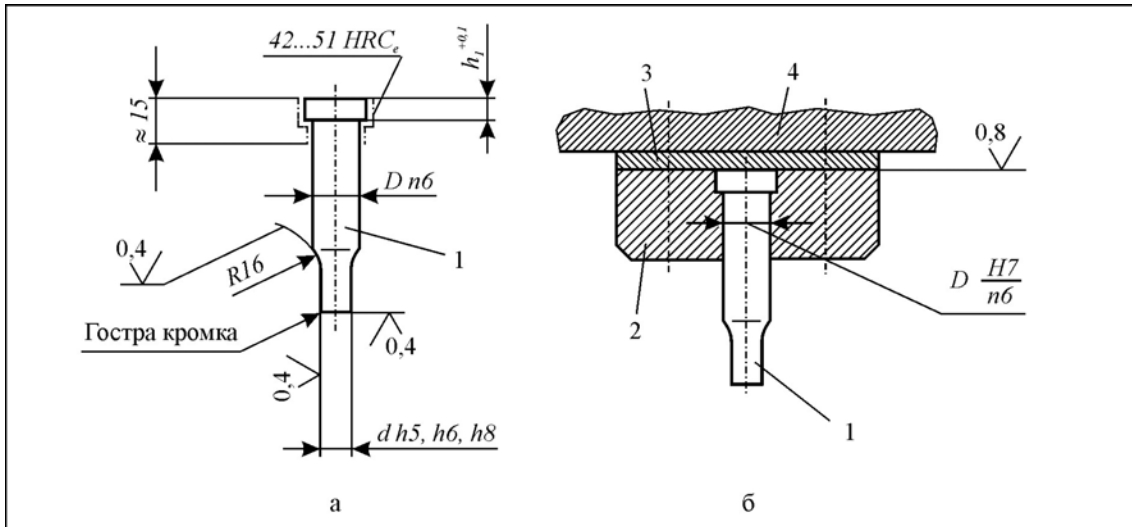


Рис. 5.39. Нешвидкозмінний пуансон (з буртиком) для пробивання круглого отвору ($d = 1 \dots 24$ мм): 1 – пуансон; 2 – тримач; 3 – підкладна плітка; 4 – верхня плита

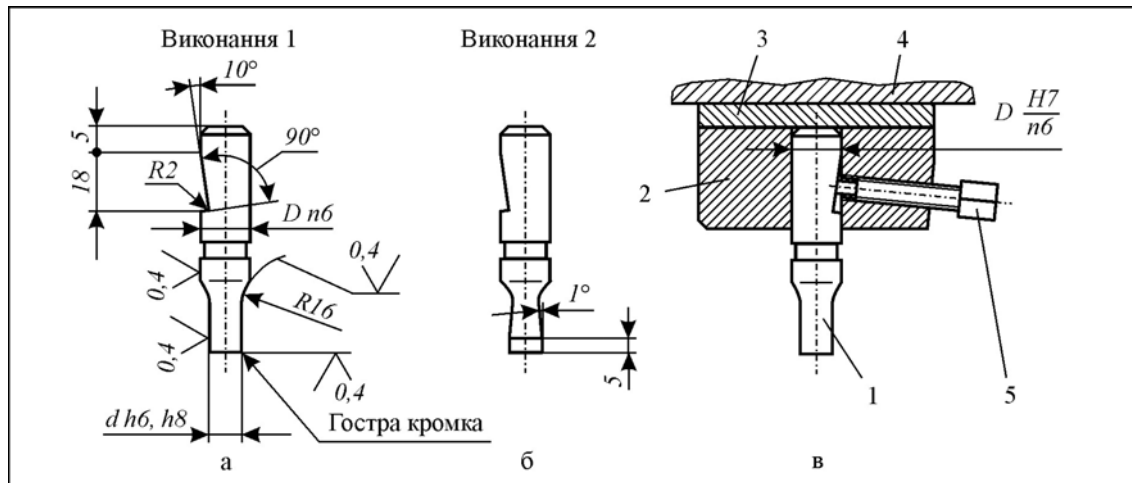


Рис. 5.40. Швидкозмінний пуансон для пробивання круглого отвору ($d = 3 \dots 24,0$ мм): 1 – пуансон; 2 – тримач; 3 – підкладна плітка; 4 – верхня плита; 5 – гвинт

Матриці. Стандартні матриці, як і стандартні пуансони, призначені, головним чином, для виконання операції пробивання в заготовках круглих, квадратних, довгастих та подовжено-довгастих отворів обмежених розмірів. Іноді їх використовують для вирубівання дрібних деталей за контуром.

У залежності від конструктивного виконання розрізняють не швидкозмінні стандартні матриці (наприклад, рис. 4.47) та швидкозмінні (наприклад, рис. 4.48).

Для заміни не швидкозмінної матриці треба попередньо зняти штамп із преса, відокремити від нього нижню частину, демонтувати державку та випресувати з неї матрицю, а встановлення матриці зробити в зворотному порядку.

Заміна швидкозмінної матриці здійснюється методом випресовування без демонтажу державки. Якщо вузол кріплення матриці в державці має стопорний гвинт, то його попередньо відкручують. Установлення швидкозмінної матриці в штамп робиться в зворотному порядку.

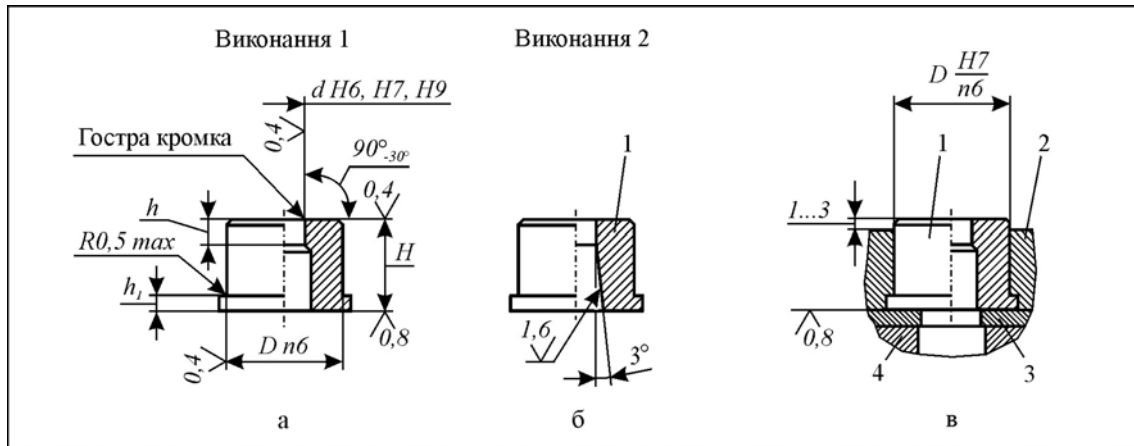


Рис. 5.41. Нешвидкозмінна стандартна матриця з круглим отвором та буртиком ($d = 1,0 \dots 52,0$ мм): 1 – матриця; 2 – тримач; 3 – підкладна плитка; 4 – нижня плита

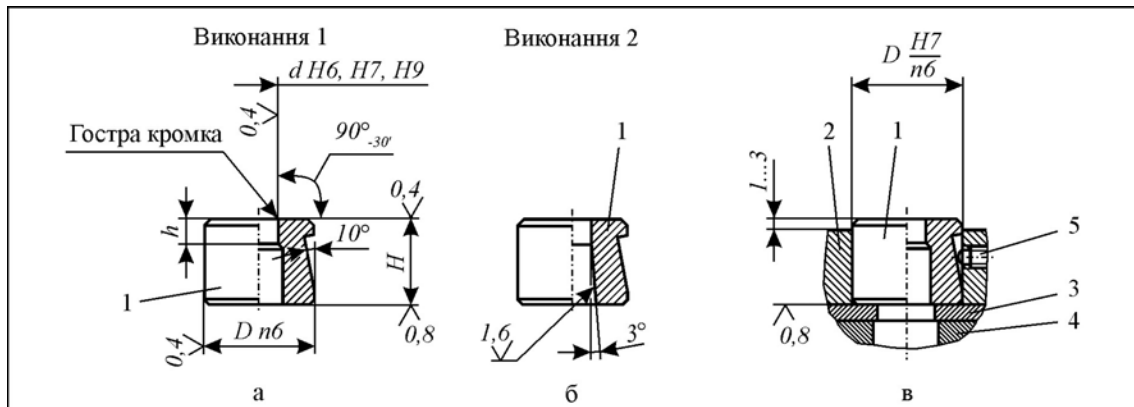


Рис. 5.42. Швидкозмінна стандартна матриця з круглим отвором ($d = 3,0 \dots 30,0$ мм): 1 – матриця; 2 – тримач; 3 – підкладна плитка; 4 – нижня плита; 5 – гвинт

Матеріали робочих деталей штампів. У найбільш складних умовах працюють робочі елементи штампів, а тому вони повинні володіти достатньою зносостійкістю та високою міцністю, щоб сприймати без руйнування високі тиски, в'язкістю для сприйняття при розділових операціях динамічних навантажень, малою залишковою деформацією для зберігання форми при деформуванні з великими питомими навантаженнями. Крім того, матеріали для виготовлення робочих елементів повинні мати незначну деформацію при термічній обробці та добру оброблюваність. Нижче в табл. 5.4 приведені рекомендації щодо вибору матеріалів для виготовлення робочих елементів штампів.

Таблиця 5.4

Рекомендації щодо вибору матеріалів для виготовлення робочих елементів штампів

Робочі елементи штампів	Матеріали
А. Штампів для розділових операцій	
Інструмент (пуансони, матриці, пуансон-матриці, ножі) простої форми для штампування низько-вуглецевих сталей, кольорових металів завтовшки до 3 мм	У8А, У10А, 7Х3, 9ХС
Теж саме, більш 3 мм	Х12М, Х12Ф1, 9ХВГ, 5ХВ2С
Інструмент складної форми для штампування тих же матеріалів завтовшки 3...8 мм	Х12М, Х12Ф1, Х12Ф4М, 9ХВГ, 5ХВ2С

Інструмент для чистового вирубування, пробивання для штампування тих же матеріалів завтовшки 3...12 мм	7ХГ2ВМ, Х6ВФ, Х12М, Х12Ф1, Р18
Інструмент будь-якої форми для штампування важкодеформуємих матеріалів, у тому числі сталі 45 завтовшки до 3 мм	Х12Ф1, 6Х6В3МФС, ВК20, ВК25
Інструмент для штампування електро-технічної сталі та інших матеріалів в умовах масового виробництва завтовшки до 0,5 мм: - пуансони простої форми - матриці простої форми - пуансони складеної форми - матриці складеної форми	ВК11 ВК15 ВК20 ВК25
Б. Штampi для формозмінних операцій	
Інструмент (пуансони, матриці) та притискачі простої форми для штампування низьковуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів завтовшки до 8 мм	У8А, Х12М, 8ХФ, ВК8...ВК30
Інструмент складної форми для штампування тих же матеріалів	У10А, ШХ15, 9ХС, Х12Ф1, ВК11...ВК30
Інструмент будь-якої форми великогабаритних розмірів для штампування тих же матеріалів	Спеціальний нікельовий чавун*
Інструмент будь-якої форми та розмірів для штампування сталі 45 та аналогічних марок завтовшки до 8 мм	Х12, Х12Ф1, Х12Ф1, 7ХГ2ВМ
Інструмент будь-якої форми та розмірів для штампування корозійностійкої сталі завтовшки до 6 мм	Модифікований чавун
Інструмент будь-якої форми та розмірів для штампування титанових сплавів	Чавун МН, СЧ35, СЧ32, БрАЖН10-4-4, БрА11Ж6Н6
Інструмент будь-якої форми та розмірів для витягування з нагріванням	5ХГМ, 3Х2В8Ф, 4ХС, ХН70ВМТЮ
* Хімічний склад спеціального нікельового чавуна: 2,9...3,2 % С; 1,0...1,5 % Si; 2,5...4,0 % Ni; 0,6...1,0 % Cr; 0,5...1,0 % Mn	

Термообробка робочих деталей штампa. Матриці та інші відповідальні деталі штампів, що термообробляються, мають допоміжні отвори під штифти та болти, які перед термообробкою слід заповнити сумішшю глини з азбестом. У протилежному випадку в цих місцях можливе виникнення тріщин. З матриць та пуансонів перед термообробкою необхідно зчистити матеріал, який служить для розмічування, наприклад, мідний купорос, олово. Для запобігання виникнення тріщин у кутах, западинах та сполученнях усі ці концентратори термічних напружень повинні бути добре зглажені, зачищені.

Матриці загартовують або в спокійному середовищу, у цьому випадку твердість усіх ділянок буде однаковою, або за допомогою спрямованого на робочу частину струменя більш холодної рідини, внаслідок чого твердість робочих ділянок буде вище, ніж твердість основи. Місцеве загартування забезпечує сполучення в'язкості основної частини матриці з високою твердістю робочих кромок.

Твердість розділових пуансонів повинна зменшуватися в міру віддалення від робочого торця до опорного. Потрібного розподілу твердості досягають тим, що при відпусканні опорну частину пуансона нагрівають до більш високої температури, ніж робочу. За кольором мінливості на робочому торцю судять про достатність нагрівання (відпускання). Нагрівають пуансон шляхом установлення його торцем на розігріту масивну плиту (температура плити 800...850° С), або шляхом відпускання у свинцеву ванну опорного торця на глибину 8...10 мм (температура ванни

750...800° С). На рис. 5.43 показані криві розподілу твердості за довжиною пуансона при відпусканні його шляхом нагрівання опорного торця на плиті або в свинцевій ванні.



Рис. 5.43. Діаграма розподілу твердості за довжиною пуансона (сталь ШХ9) при його відпусканні: 1 – пуансон $D = 50$ мм, $l = 150$ мм; 2 – пуансон $D = 18,7$ мм, $l = 150$ мм; 3 – пуансон $D = 50$ мм, $l = 100$ мм; 4 – $D = 50 \times 50$ мм, $l = 110$ мм

При термічній обробці робочого інструмента зі сталі Х12М спостерігається таке явище: чим вище температура загартування, тим менше об'єм загартованої деталі. Пояснюється це тим, що при підвищенні температури загартування кількість залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі підвищується, а питомий об'єм аустеніту менше питомого об'єму мартенситу. У результаті зменшення об'єму деталі її зовнішній діаметр зменшується, а внутрішній підвищується. Так, для діаметра 100 мм при температурі загартування 1100° С зменшення складає 0,2 мм. При нагріванні деталі при відпусканні вище 450° С аустеніт розпадається та частково переходить в мартенсит, за рахунок чого об'єм деталі підвищується. Таким чином, змінюючи температуру відпускання, можна добитися отримання початкового об'єму при достатньо високої твердості. Таке «теплове доведення» робочих розмірів пуансонів та матриць після їхнього загартовування, особливо у випадку складного контуру, який неможливо шліфувати, дозволяє різко знизити брак при виготовленні складних, точних штампів. Уперше «теплове доведення» почав використовувати в 1932 році Я. Р. Раузін.

Боротися зі зміною форми інструмента при загартуванні можна рівним однорідним нагріванням із попереднім прогрівом та ступінчастим охолодженням (з однією або двома ступенями).

Стійкість робочих деталей штампа. У процесі експлуатації штампів найбільш частіше приходять у непридатність їхні основні робочі частини – матриці та пуанسونи. Тому слід розрізняти:

- *повну стійкість* штампа, що визначається числом відштампованих деталей до повного зношування його робочих частин, та отримання розмірного браку деталей, що штампуються;
- *проміжну (якісну) стійкість* або стійкість між переточуванням (для усунення задирок при вирубуванні-пробиванні) або між зачищення робочих частин для усунення задирок, рисок та подряпин при витягуванні, гнутті.

Повна стійкість штампів безпосередньо зв'язана із проміжною стійкістю, так як число допустимих переточок та зачищень обмежено повним використанням робочих деталей штампів, або отриманням розмірного браку деталей.

Стійкість штампа до повного зношування

$$T = nNn_1, \quad (5.1)$$

де n - число переточок;

N - число навантажень на період між двома переточками. Вона залежить від багатьох факторів і, насамперед, від механічних властивостей матеріалів заготовки та інструмента. Її визначають, як

правило, за експериментальними даними, що наводяться в довідниках;
 n_1 - число робочих місць у штампі.

5.6. Розрахунок штампів

Розрахунок пуансонів на міцність. Розрахунок пуансонів (переважно розділових) на міцність рекомендується виконувати за умови:

$$P_{доп} \geq P_з,$$

де $P_{доп}$ – допустиме навантаження на стиснення; $P_з$ – потрібне (технологічне) зусилля при зрізі.

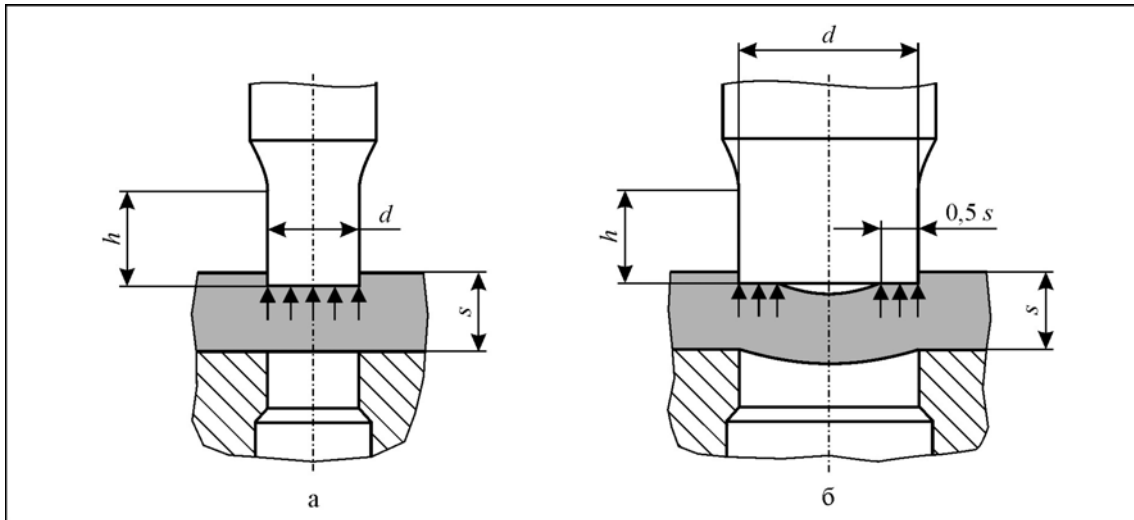


Рис. 5.44. До розрахунку площі робочого контакту торця пуансона з матеріалом, що штампується

Допустиме навантаження на стиснення та усталеність робочої частини пуансона h (рис. 5.44) рекомендується визначати за формулою:

$$P_{доп} = \varphi F_k [\sigma_{см}],$$

φ - коефіцієнт зниження допустимого напруження, який залежить від умовної гнучкості (табл. 5.5) та характеризується співвідношенням $\mu h / i_{min}$; μ - коефіцієнт приведеної довжини, що характеризує спосіб закріплення кінця стержня і приймається рівним 0,7; h – довжина робочої частини пуансона, мм; i_{min} – мінімальний радіус інерції робочого перерізу пуансона, мм:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I}{F_n}},$$

I – мінімальний осьовий момент інерції поперечного перерізу робочої частини пуансона, мм²; F_n – площа поперечного перерізу робочої частини пуансона, мм². Для круглого перерізу

$$i_{min} = 0,25d.$$

Таблиця 5.5

Залежність коефіцієнта зниження допустимого напруження φ від умовної гнучкості $\mu h / i_{min}$

$\mu h / i_{min}$	До 4	4...8	8...12	12...16	16...23	23...30
φ	1,00	0,80	0,75	0,72	0,65	0,60

F_k – площа контакту робочого торця пуансона з матеріалом, що штампується, мм², яка визначається:

- при співвідношенні $S/d \geq 1$, $S/b \geq 1$ – $F_k = F_n$ (рис. 5.44, а);
- при співвідношенні $S/d < 1$, $S/b < 1$ площа контакту приймається такою, що дорівнює площі пояску завширшки $0,5S$ за периметром робочого торця пуансона (рис. 5.44, б). Наприклад, для круглого контуру

$$F_k = \frac{\pi S(2d - S)}{4} ;$$

$[\sigma_{cm}]$ – допустиме напруження на стиснення матеріалу пуансона. У табл. 5.6 приводяться дані допустимого напруження на стиснення для матеріалів пуансонів із прийнятим запасом міцності 1,5...2.

Таблиця 5.6

Допустиме напруження на стиснення для матеріалів пуансонів

Характеристика групи та марки сталі	[σ_{cm}]	
	МПа	кгс/мм ²
Інструментальні сталі У8А, У10А та інші	1600	160
Високолеговані сталі Х12М, 9ХС та інші	1900	190

ПРИКЛАД 1. Вибрати марку сталі для пуансона (рис. 5.45, а) та виконати розрахунок на допустиме навантаження, якщо технологічне зусилля пробивання отвору $P_z = 63000$ Н, товщина матеріалу, що штампується $S = 5$ мм.

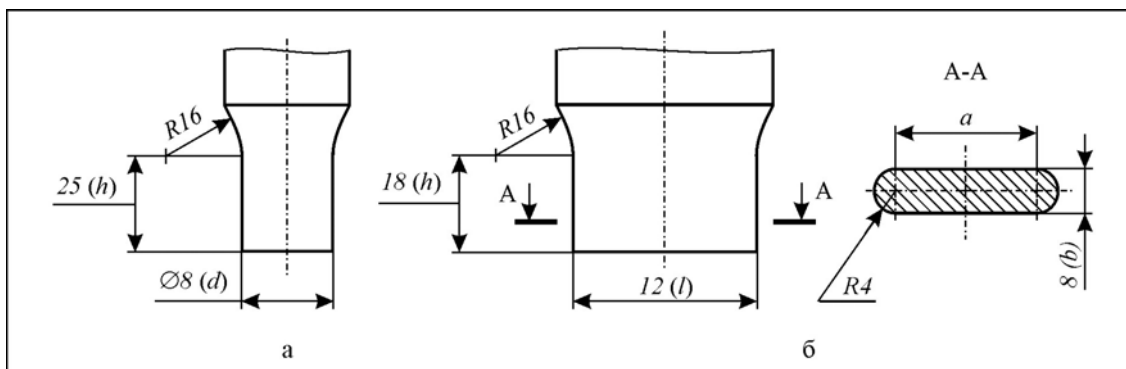


Рис.5.45. Ескізи пуансонів до першого (а) та другого (б) прикладів розрахунку

Р і ш е н н я

$$P_{\text{доп}} = \varphi F_k [\sigma_{cm}] \geq P_z .$$

$$1. \frac{\mu h}{i_{\text{min}}} = \frac{0,7 \cdot 25}{0,25 \cdot 8} = 8,75.$$

$$2. \varphi = 0,75 \text{ (за табл. 5.5).}$$

$$3. S/d = 5/8 = 0,625 < 1, \text{ отже}$$

$$F_k = \frac{\pi S(2d - S)}{4} = \frac{3,14 \cdot 5(2 \cdot 8 - 5)}{4} = 43,175 \text{ мм}^2.$$

$$4. [\sigma_{cm}] = 1600 \text{ МПа для сталі У10А (за табл. 5.6).}$$

$$5. P_{\text{доп}} = 0,75 \cdot 43,175 \cdot 1600 = 51810 \text{ Н.}$$

Так як $P_{\text{доп}} < P_z$, умова усталеності пуансона не виконується, тому вибираємо більш міцний матеріал. Із групи високолегованих сталей призначаємо марку 9ХС, для якої $[\sigma_{cm}] = 1900$ МПа:

$$P_{\text{доп}} = 0,75 \cdot 43,175 \cdot 1900 = 61520 \text{ Н.}$$

Зважаючи на те, що напруження $[\sigma_{cm}]$ прийнято із запасом міцності 1,5...2, застосування марки сталі 9ХС допустимо.

ПРИКЛАД 2. Вибрати марку сталі для пуансона (рис. 5.45, б) та виконати розрахунок на допустиме навантаження, якщо технологічне зусилля пробивання отвору $P_3 = 90000$ Н, товщина матеріалу, що штампується, $S = 8$ мм.

Р і ш е н н я

$$P_{\text{дон}} = \varphi F_{\kappa} [\sigma_{cm}] \geq P_3.$$

$$1. i_{\min} = \sqrt{\frac{I}{F_n}}.$$

Момент інерції фігур типу овалу, еліпса має мінімальне значення відносно поздовжньої осі, що проходить через центр ваги (див. переріз А-А на рис. 5.45, б)).

$$I = I_1 + I_2,$$

де I_1 – момент інерції круга; I_2 – момент інерції прямокутника відносно осі $X-X$.

$$I_1 = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^4}{4} = 200,96 \text{ мм}^4;$$

$$I_2 = \frac{a \cdot \varrho^3}{12} = \frac{(12-8) \cdot 8^3}{12} = 170,66 \text{ мм}^4;$$

$$I = 200,96 + 170,66 = 371,62 \text{ мм}^4;$$

$$S/\varrho = 8/8 = 1, \text{ отже } F_{\kappa} = F_n.$$

$$F_n = F_1 + F_2,$$

де F_1 – площа круга; F_2 – площа прямокутника.

$$F_n = \frac{\pi d^2}{4} + a\varrho = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} + 4 \cdot 8 = 82,23 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{371,62}{82,23}} = 2,12 \text{ мм}.$$

$$2. \frac{\mu h}{i_{\min}} = \frac{0,17 \cdot 18}{2,12} = 5,94, \quad \varphi = 0,8 \quad (\text{за табл. 5.5}).$$

$$3. [\sigma_{cm}] = 1600 \text{ МПа для сталі У10А (за табл. 5.6).}$$

$$4. P_{\text{дон}} = 0,8 \cdot 82,23 \cdot 1600 = 105254 \text{ Н} > P_3.$$

Прийнята для виготовлення пуансона марка сталі У10А витримує дане навантаження.

Розрахунок матриць. Рекомендації щодо проектування матриць:

- форма матриці визначається формою та розмірами деталі, що штампується. Розміри прямокутної матриці визначають (орієнтовно) виходячи з розмірів її робочої зони. Найменші зовнішні розміри регламентуються довідниковими даними;

- орієнтовний вибір діаметрів гвинтів та штифтів здійснюють за таблицею 5.7;

Таблиця 5.7

Діаметри гвинтів та штифтів для кріплення матриці, мм

Найбільший габаритний розмір (зовнішній діаметр) матриці, мм	Діаметри гвинтів та штифтів при технологічному зусиллі P , що сприймається матрицею, кН					
	До 500		Від 500 до 1000		Більше 1000	
	Гвинт	Штифт	Гвинт	Штифт	Гвинт	Штифт
До 100	M6	6	M8	6	-	-
Від 100 до 125	M8	8	M10	8	-	-
Від 125 до 160	M10	8	M12	10	M12	10
Від 160 до 250	M10	10	M12	10	M12	10
Від 250 до 280	M10	10	M12	10	M12	10
Від 280 до 400	M12	10	M12	10	M12	10
Більше 400	M12	10	M12	12	M16	12

- число гвинтів визначають з умови, що відстань між двома найближчими гвинтами не повинна перевищувати приблизно 90 мм. Але це не завжди;
- число штифтів визначають з умови, що кожний самостійний елемент штампа, який повинен бути нерухомий відносно матриці та сама матриця (або кожна її окрема частина) повинні фіксуватися двома штифтами;
- приклад розміщення робочої зони та отворів для кріплення матриці штампа послідовної дії показано на рис. 4.53, а. Відповідні залежності для визначення координат отворів під елементи кріплення приведені в таблицях 5.8, 5.9;

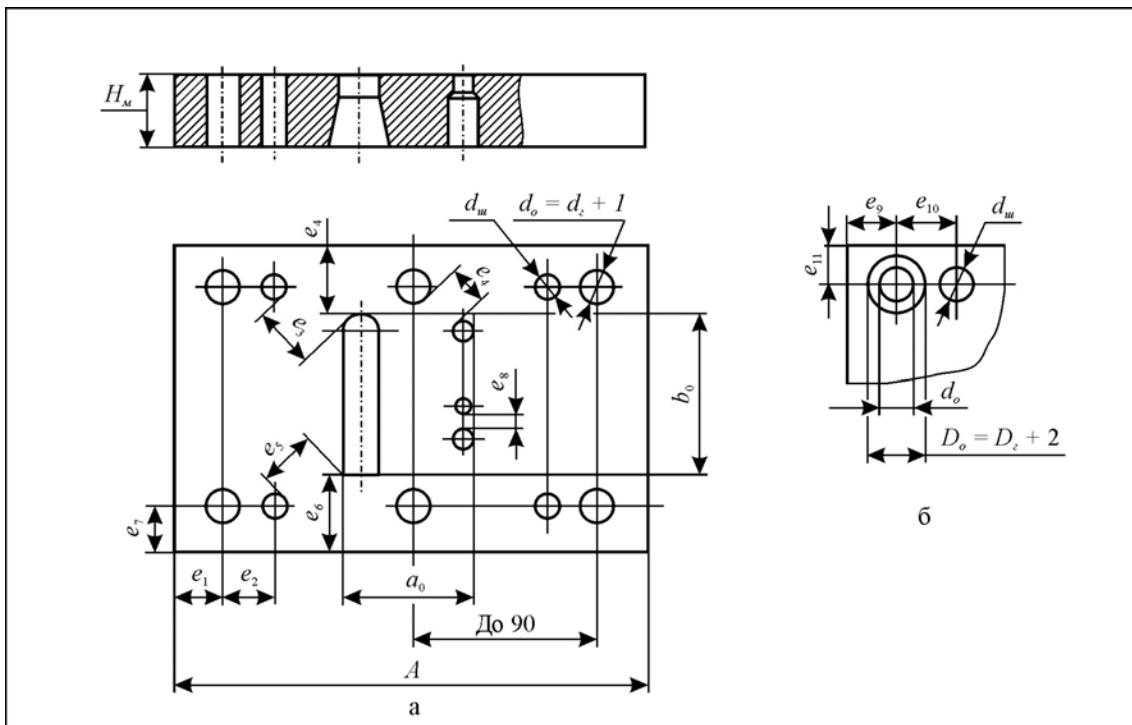


Рис. 5.46. Матриця штампа послідовної дії (d_z – діаметр стрижня гвинта; D_z – діаметр головки гвинта; d_o – діаметр отвору під стрижень гвинта; D_o – діаметр поглиблення під головку гвинта; d_m – діаметр отвору під штифт)

- товщину матриці H_m визначають із наступної емпіричної залежності, мм:

$$H_m = s + K_m \sqrt{a_p + b_p} + 7; \quad (5.2)$$

де s – товщина матеріалу, що штампується, мм;
 a_0 та b_0 – розміри робочої зони матриці, мм;

K_m - коефіцієнт, що визначається за таблицею 5.10.

Таблиця 5.8

Розміри та координати гвинтів та штифтів для кріплення матриці (рис. 4.53, а), мм

Довжина A матриці	Найменше значення координат отворів під гвинти та штифти в залежності від діаметра гвинта (штифта)										Число гвинтів в одному ряду
	М6 (6)		М8 (6, 8)		М10 (8, 10)		М12 (10, 12)		М16 (12)		
	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	
До 100	7,5	12	10	16	-	-	-	-	-	-	2
Від 100 до 125	-	-	10	16	12,5	20	-	-	-	-	2
Від 125 до 160	-	-	-	-	12,5	20	15	25	-	-	2
Від 160 до 250	-	-	-	-	15	20	15	25	-	-	3
Від 250 до 280	-	-	-	-	15	20	15	25	-	-	3
Від 280 до 400	-	-	-	-	-	-	15	25	-	-	3
Більше 400	-	-	-	-	-	-	15	25	20	32	3

Примітка:

- координати гвинтів та штифтів наведено для випадку розташування в матриці отворів під стержні гвинтів. Якщо в матриці розташовуються отвори під головки гвинтів (див. рис. 4.53, б), їх координати слід визначати із наступних залежностей:

$$e_9 = e_1 + \frac{D_{o.v.} - d_{o.v.}}{2}; \quad e_{10} = e_2 + \frac{D_{o.v.} - d_{o.v.}}{2};$$
- сумарне технологічне зусилля, що діє на матрицю, не перевищує 500 кН. Якщо зусилля складає 500...1000 кН, наведені в таблиці значення слід помножити на 1,2, при зусиллі більше 1000 кН – на 1,4.

Таблиця 5.9

Найменша відстань між елементами сталеві матриці (див. рис. 4.53), мм

Матеріал матриці	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7		e_8
					$d_o \leq 8,5$	$d_o > 8,5$	
У8А, У10А, 7ХЗ, 9ХС, 9ХВГ	$0,8d_o$	d_o	d_o	$2,5H_m$	$1,2d_o$	$1,4d_o$	$2s$
Х12М, Х12Ф1	$0,6d_o$	H_m	$0,8d_o$	$2H_m$	d_o	$1,2d_o$	$1,5s$

Примітка:

- найменша відстань e_8 для матриць із сталей У8А, У10А, 7ХЗ, 9ХС, 9ХВГ – 2 мм, для матриць сталей Х12М, Х12Ф1 – 1,5 мм;
- у випадку розташування в матриці отворів під головки гвинтів (рис. 4.53, б) відстань e_{11} розраховується за формулою

$$e_{11} = e_7 + \frac{D_o - d_o}{2};$$
- сумарне технологічне зусилля, що діє на матрицю, не перевищує 500 кН. Якщо зусилля складає 500...1000 кН, наведені в таблиці значення слід помножити на 1,2, при зусиллі більше 1000 кН – на 1,4;
- число гвинтів в одному ряду визначається із умови, що відстань між двома сусідніми гвинтами не повинна перевищувати 90 мм.

Таблиця 5.10

Значення коефіцієнта K_m

σ_s , МПа	До 120	Від 120 до 200	Від 200 до 300	Від 300 до 500	Від 500 до 1000	Більше 1000
K_m	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5...2,0

Додатково за емпіричною формулою можна перевірити достатність товщини матриці, мм:

$$H_m = \sqrt[3]{100P}, \quad (5.3)$$

де P – технологічне зусилля штампування, кН. Після цього слід прийняти більше зі значень H_m , що отримані за формулами (5.2) та (5.3). Прийняте значення H_m необхідно округлити до найближчого більшого значення з наступного ряду чисел: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80.

Розрахунок буферних пристроїв. Буферні пристрої, що використовують еластичні матеріали (гуму, поліуретан), є необхідним елементом багатьох конструкцій штамсів. Основні їхні переваги – простота виготовлення при незначних матеріальних витратах, та доступність для будь-якого виду виробництва. Але еластичні пружини володіють меншою стійкістю порівняно зі сталевими.

Гумові буфери (гумові пружини) як привод у штампах застосовують у вигляді круглого або прямокутного кільця, а також листів близьким до конфігурації та розмірам опорної поверхні рухомої деталі.

Остання перевага дуже цінна для штамсів, у яких потрібно створювати великі зусилля для переміщення рухомих елементів при малих витратах виробництва.

Розрахунок гумового буфера (рис. 5.47) виконують звичайно у такій послідовності.

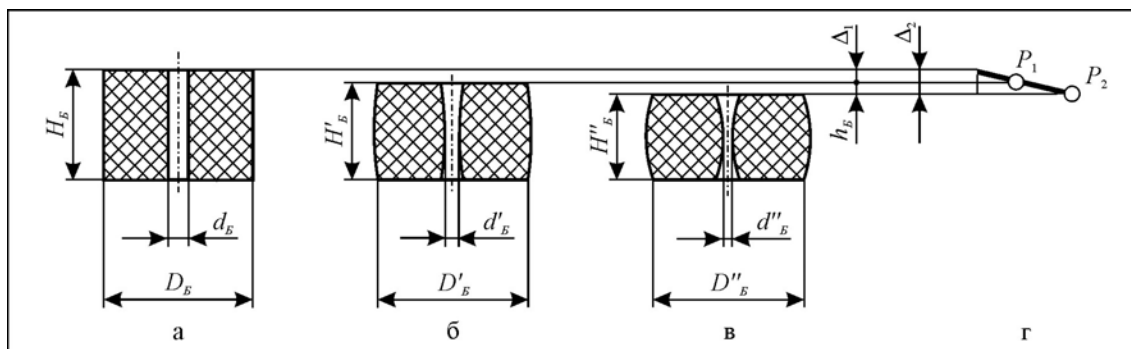


Рис. 5.47. До розрахунку кільцевого гумового буфера: а – буфер у вільному стані; б – попередньо стиснутий буфер на величину Δ_1 до початкового зусилля P_1 ; в – стиснутий буфер на величину Δ_2 до потрібного технологічного зусилля P_2 ; г – графік зміни зусилля буфера

За заданими трьома основними параметрами – зусиллям на початку P_1 та в кінці P_2 операції і потрібному робочому ходу h_b – визначають величину Δ_1 потрібного стиснення буфера. Формулу для розрахунку величини Δ_1 можна отримати із пропорції:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{P_1}{P_2}, \quad (5.4)$$

де Δ_2 - величина повного стиснення буфера.

Тоді:

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_2 P_1}{P_2}. \quad (5.5)$$

Але величина Δ_2 складається з величини попереднього стиснення Δ_1 та величини потрібного робочого ходу h_B , тобто

$$\Delta_2 = \Delta_1 + h_B. \quad (5.6)$$

Після підстановки виразу (4.6) у вираз (4.5) та відповідних перетворень, маємо формулу для розрахунку величини потрібного попереднього стиснення буфера Δ_1 :

$$\Delta_1 = \frac{h_B P_1}{P_2 - P_1}. \quad (5.7)$$

При виконанні розділових операцій значення h_B як правило невелике, а при виконанні формозмінних операцій воно визначається потрібною глибиною витягування, шириною полки, що відгинається, та іншими умовами й суттєво зростає.

Потрібні зусилля P_1 та P_2 визначають виходячи з характеристики операції, що виконується. Спочатку розраховують номінальне значення цього зусилля, а потім його допустимі граничні значення – найменше P_1 та найбільше P_2 . Слід приймати найбільше можливе значення відношення $P_2 : P_1$. Тоді попереднє стиснення Δ_1 буфера буде мінімальним.

Найбільше допустиме (повне) стиснення гумового буфера

$$\Delta_2 = \psi H_B, \quad (5.8)$$

де ψ - коефіцієнт, що показує частку допустимого стиснення буфера відносно висоти H_B , коли буфер не зазнає інтенсивного зносу та працює стабільно протягом тривалого часу. $\psi = 0,3$ при відносному стисненні буфера на 30%. При цьому зусилля підвищується пропорційно величині його стиснення.

Повне стиснення Δ_2 можна визначити, коли у вираз (5.6) підставити вираз (5.7):

$$\Delta_2 = \frac{h_B P_2}{P_2 - P_1}. \quad (5.9)$$

Потрібну корисну площу буфера F_B (мм²) визначають з умови, що питоме зусилля стиснення гуми при $\psi = 0,3$ становить (при твердості 62 по Шору А) приблизно 1,7 Н/мм².

Отже

$$F_B = \frac{P_2 \eta}{1,7}, \quad (5.10)$$

де P_2 - зусилля стиснення буфера в кінці операції, H ; η - коефіцієнт (рис. 5.48).

Рис. 5.48. Залежність коефіцієнта η від твердості гуми



У випадку, коли буфер стискується на величину Δ_B , яка менш 30 % ($\psi < 0,3$), зусилля P_B (H) дорівнює

$$P_B = \frac{5,7F_B \Delta_B}{H_B \eta}, \quad (5.11)$$

де $\Delta_B/H_B = \psi$.

Корисна площа буфера, яка потрібна для забезпечення заданого зусилля P_B (при умові, що $P_B < P_{\max}$) становить

$$F_B = \frac{P_B H_B \eta}{5,7 \Delta_B} = \frac{P_B \eta}{5,7 \psi}. \quad (5.12)$$

За знайденим значенням F_B визначають розміри буфера. Так, для кільцевого буфера (рис. 5.47) при конструктивно заданому внутрішньому діаметру d_B , зовнішній діаметр D_B визначають за формулою:

$$D_B = \sqrt{\frac{4F_B}{\pi} - d_B^2}. \quad (5.13)$$

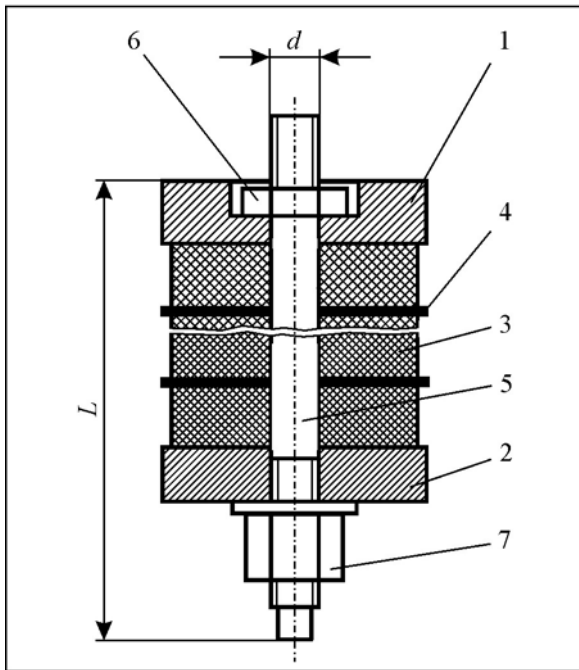


Рис. 5.49. Стандартний буфер з гумовими пружинами: 1 – верхня шайба; 2 – нижня шайба; 3 – гумова пружина; 4 – прокладка; 5 – шток; 6 – гайка

При розташуванні гумового буфера необхідно враховувати те, що, при стисненні $\psi = 0,3$, відбувається випинання його внутрішньої та зовнішньої циліндричних поверхонь. При цьому

$$D_B'' \approx 1,3D_B, \quad (5.14)$$

$$d_B'' \approx 0,9d_B. \quad (5.15)$$

При конструюванні штампа іноді виникає необхідність виконувати зворотний розрахунок: при конструктивно заданих розмірах буфера підрахувати зусилля, яке він може забезпечити. У цьому випадку за значенням F_B із формули (5.11) знаходять зусилля P_B при будь-якому стисненню $\Delta_B \leq \Delta_2$.

При конструюванні буфера необхідно дотримуватися умови:

$$H_B \leq D_B. \quad (5.16)$$

Якщо є потреба в отриманні більшої висоти, буфер слід складати з окремих частин із металевими прокладками товщиною 2...3 мм (принцип шарового пирога; рис. 5.49).

Поліуретанові буфери розраховують за методикою, що наведена вище для гумових буферів, також виходячи з оптимального значення найбільшого стиснення на 30 % ($\psi = 0,3$). Однак, питоме зусилля, що забезпечується поліуретановим буфером, при цьому досягає 4 Н/мм^2 (при твердості 82 по Шору А).

Отже, для поліуретанового буфера



$$F_B = \frac{P_2 \eta'}{4}, \quad (5.17)$$

де η' – коефіцієнт (рис. 5.50).

Рис. 5.50. Залежність коефіцієнта η' від твердості поліуретану

Формула (5.11) перетворюється стосовно поліуретанового буфера до вигляду

$$P_B = \frac{13,3 F_B \Delta_B}{H_B \eta'}. \quad (5.18)$$

Розрахунок координат центру тиску штампа. При проектуванні штампа прагнуть, щоб центр його тиску проходив через вісь хвостовика, тобто збігався із центром тиску пресу. Це дозволяє не тільки підвищити якість штампованих деталей, точність штампування та стійкість штампа, але й забезпечити більш рівномірний знос робочих органів обладнання та оснащення за рахунок їхнього симетричного навантаження.

У геометрично правильних контурах деталей їхні центри тиску та геометричні центри збігаються, а тому вони відомі.

Основним інженерним методом розрахунку координат центру тиску для складних контурів деталей штампа є аналітичний метод, як найбільш універсальний та точний.

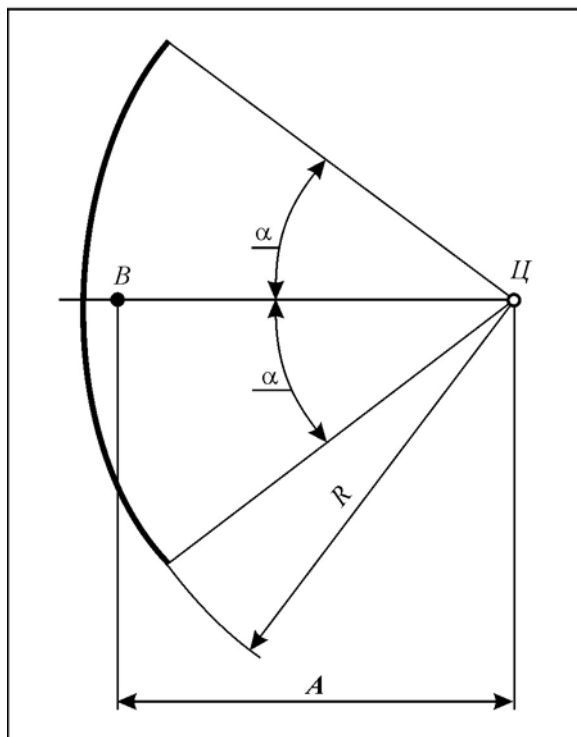


Рис. 5.51. До визначення координати центру ваги дуги кола

Сутність метода полягає в наступному. Якщо взяти довільну систему координат X та Y в площині перпендикулярної до вектора прикладання зусилля штампування, і поділити складний контур на елементарні ділянки (прямокутні та дуги кола), то координати центру тиску штампа x_0 та y_0 відносно цих осей визначаються за формулами:

$$x_0 = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2 + \dots + l_n x_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}; \quad (5.19)$$

$$y_0 = \frac{l_1 y_1 + l_2 y_2 + \dots + l_n y_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (5.20)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – абсциси центрів ваги елементів контуру;

$$x_3 = AV - FV + OG \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = AV - FV + kR \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} =$$

$$= 100 - 20 + \frac{57,5}{45} \cdot 20 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 92,8 \text{ мм};$$

$$x_4 = \frac{AV - FV}{2} = \frac{100 - 20}{2} = 40 \text{ мм};$$

$$y_1 = AC \cdot \cos(90 - \beta) = \frac{AB}{2} \cdot \frac{BV}{AB} = \frac{BV}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ мм};$$

$$y_2 = \frac{BV - EV}{2} = \frac{120 - 20}{2} = 50 \text{ мм};$$

$$y_3 = EV - OG \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = EV - kR \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 20 - \frac{57,5}{45} \cdot 20 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 7,2 \text{ мм};$$

$$y_4 = 0.$$

Тоді

$$x_0 = \frac{169,7 \cdot 50 + 100 \cdot 100 + 31,4 \cdot 92,8 + 80 \cdot 40}{169,7 + 100 + 31,4 + 80} = 64,5 \text{ мм};$$

$$y_0 = \frac{169,7 \cdot 60 + 100 \cdot 50 + 31,4 \cdot 7,2 + 80 \cdot 0}{169,7 + 100 + 31,4 + 80} = 40,4 \text{ мм}.$$

5.7. Техніка безпеки та екологічність листоштампувального виробництва

Причини травматизму при роботі в листоштампувальних цехах:

- невиконання вимог обов'язкових інструктажів з техніки безпеки, що проводяться при працевлаштуванні робітника на підприємство інженером з техніки безпеки підприємства, інженером з техніки безпеки листоштампувального цеху та майстром цеху (інструктаж на робочому місці);

- листоштампувальний цех відноситься до цехів підвищеної небезпечності в зв'язку з наявністю швидкохідних пресів, листових ножиць, правильних багатовалкових машин, потужного механічного та електричного обладнання, мостових кранів та кран-балок, гострих листових заготовок, трубопроводів стисненого повітря тощо;

- спонтанне спрацювання муфти вмикання головного валу преса;
- відсутність захисних пристроїв на пресах, ножицях та на іншому обладнанні;
- відсутність захисних пристроїв на штампах;
- робота без застосування ручного інструмента для вкладання заготовки в штамп та вилучення її зі штампа;
- невірне стропування будь-якого прокату та заготовок;

- установлення або демонтаж штампа при умові, коли маховик обертається;
- відсутність або непридатність спеціального робочого одягу;
- відсутність технічних окулярів, що передбачені технологією;
- відсутність навушників, що передбачено технологією;
- порушення технологічного процесу штампування тощо.

Захисні пристрої, що забезпечують безпечну роботу на пресах. Загальні положення про виробниче обладнання:

- виробниче обладнання повинно задовольняти умовам безпеки при монтажу, експлуатації, ремонті, транспортуванні та зберіганні, при використанні його окремо чи в складі комплексів та технологічних систем;

- виробниче обладнання в процесі експлуатації не повинно забруднювати викидами шкідливих речовин у навколишнє середовище (повітря, ґрунт, водоймище), які перевищують норми, що встановлено стандартами;

- виробниче обладнання повинно бути пожежо- та вибухобезпечне;

- виробниче обладнання при експлуатації не повинно створювати небезпечних та шкідливих факторів для робочих внаслідок дії вологості, сонячної радіації, механічних коливань, високих та низьких тисків і температур, агресивних речовин, вітрових навантажень, обмерзання;

- виробниче обладнання повинно відповідати вимогам безпеки протягом усього терміну служби;

- безпечність виробничого обладнання повинна забезпечуватися: вибором принципів дії, конструктивних схем, безпечних елементів конструкції; застосуванням у конструкції засобів механізації та автоматизації, дистанційного керування та засобів захисту; виконанням ергономічних вимог; включенням вимог безпеки в технічну документацію по монтажу, експлуатації, ремонту, транспортуванню та зберіганню; використанню в конструкції відповідних матеріалів.

Технічні засоби, які знижують, або усувають небезпечні фактори при роботі на ковальсько-пресовому обладнанні, поділяються на пристрої, що безпосередньо знижують небезпечні фактори (табл. 5.11), та пристрої, що сприяють їхньому усуненню (табл. 5.12).

При одночасному керуванні двома руками система ручного керування повинна допускати можливість вмикання робочих органів тільки при натисненні обох пускових кнопок (важелів), вісі яких повинні розташовуватися на відстані не менше 300 та не більше 600 мм.

Таблиця 5.11

Пристрої, що знижують небезпечні фактори

Типи пристроїв	Назва пристрою	Вид виконання
Захисні пристрої небезпечної зони	Решітки	Рухомі
		Нерухомі
	Руковідсторонителі	-
	Корпусовідводчики	
	Фотоелементи	
Пристрої, що огорожують механізми, які рухаються	Деталі, що обертаються	
	Деталі, що рухаються поступально	
Пристрої керування	Ножні педалі	Електричні
		Пневматичні
	Ручне керування	Дворучне стаціонарне
		Дворучне переносне
	Вижільне, рукояткою	

Для уникнення випадкового вмикання робочих органів кнопки ручного керування двома руками повинні бути огорожені або розташовані так, щоб виключалася можливість їхнього випадкового натиснення, а важелі із цією метою, повинні постачатися фіксаторами.

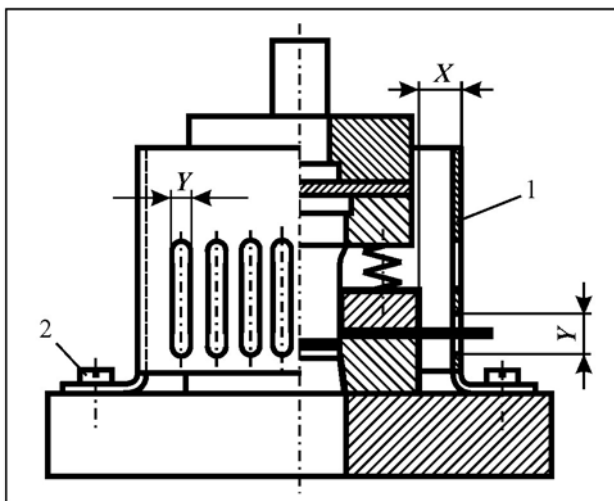
Ножна педаль повинна бути огорожена кожухом, який виключає можливість випадкової дії на неї та відкритий тільки із фронту обслуговування.

Пристрої, що сприяють усуненню небезпечних факторів	
Призначення пристрою	Назва пристрою
Пристрої, що вмикають та вимикають прес	Муфи фрикційні
Пристрої, що забезпечують безпечність та зручність налагодження машини	Мікропривод
	Рухомий стіл
Пристрої, що запобігають від поломки деталі та вказують зусилля преса	Запобіжники, що лімітують зусилля
	Запобіжники, що лімітують крутний момент
	Показчик зусилля
Пристрої, що виключають спонтанний рух окремих деталей	Гальмові пристрої
	Зрівноважувачі
	Пристрої для утримання повзуна при ремонті
Механізація та автоматизація	Механізми та системи автоматизації

Пристрої та ручний інструмент для безпечно вилучення деталей зі штампа.

Забезпечення штампом, безпечних умов праці досягається за рахунок:

- обгороджування робочої зони. Захисні пристрої, у тому числі захисна огорожа, повинні: виключати можливість попадання рук пресувальника в небезпечну зону; бути доступними для огляду штампа та його роботи; виключати можливість травмування самім захисним пристроєм; допускати налагодження, зміну штампа, змазування. У той же час, захисні пристрої по можливості не повинні: утрудняти укладання та вилучення заготовок і деталей, що штампуються; створювати фізичне та інше навантаження для оператора. У штампах із ручною подачею матеріалу, що штампуються (рис. 5.53) розміри вікон Y в огорожі для проходу матеріалу, що штампуються, а також ширина отворів або пазів для огляду та змазування, в залежності від відстані X до небезпечного елемента, повинні відповідати таблиці 5.13;



- застосування засобів механізації та автоматизації для подавання заготовки в штамп та вилучення відштампованої деталі й відходу зі штампа. Наприклад, автоподач, які вбудовані в штампи, механізмів, пневматичних пристроїв для вилучення деталей і відходів тощо;

- роботи з використання ручного захоплюючого інструмента: пінцета, гачка тощо (рис. 5.54). Ці засоби застосовуються насамперед для штучних заготовок;

Рис. 5.53. Штамп для пробивання: 1 – захисна огорожа; 2 – гвинт (4 шт.)

Таблиця 5.13

Взаємозв'язок геометричного параметра огорожі Y від відстані X (рис. 5.53)

Інтервали розмірів отворів Y , мм	Відстань від отвору до небезпечного елемента X не менш, мм	
	Для щілинних довгастих отворів	Для круглих або квадратних отворів
6... 8	15	15
8...10	40	20
10...12	40	40
12...16	63	63
16...20	90	90
20...25	130	100
25...30	160	100
30...36	250	110

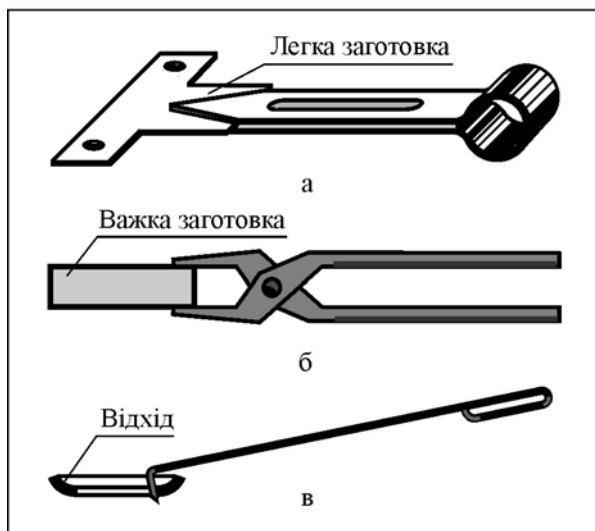


Рис. 5.54. Ручний інструмент, що захоплює: а – пінцет; б – кліщі; в - гачок

- завантаження штампа поза робочою зоною за допомогою: автоподач неперервного прокату, штабоподавачів, шибєрних живильників, револьверних та рейферних подач, промислових роботів для штучних заготовок та інших механізмів;

- роботи з дворучним або багаторучним вмиканням преса: використовуються в тих випадках, коли іншими локальними засобами неможливо або не зручно забезпечити безпечну працю штампувальника;

- дотримання встановлених норм проектування, які включають у себе: обов'язкове виконання розрахунків на міцність робочих та допоміжних елементів

штампа, а також інших розрахунків, якщо це потрібно; використання нормалізованих і перевірених життям на надійність вузлів, деталей, і кріпильних виробів; використання типових конструкцій і САПР штампів.

Екологічність листоштампувального виробництва досягається за рахунок:

- пакетування відходів від листового прокату з подальшим направленням пакетів на металургійні підприємства для подальшого переплавлення;
- централізованого зберігання в окремих приміщеннях у закритій тарі горюче-мастильних матеріалів;
- концентрації відходів, що легко запалюються (ганчір'я, папір, картон, зношений спецодяг тощо) в окремих металевих ящиках із подальшим вивезенням їх за межі території підприємства на спеціальні комбінати для переробки;
- не використання матеріалів та речовин, що потенційно можуть порушити екологію навколишнього середовища.

Частина 2
ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ

Розділ 6
ПІДГОТОВЧІ ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ

6.1. Принципові особливості процесів холодного об'ємного штампування

Процеси холодного об'ємного штампування (ХОШ) мають ряд принципових особливостей та обмежень, які слід розглядати разом на підставі положень теорії обробки тиском. При аналізі процесів ХОШ найбільш частіше використовують:

- середнє напруження σ

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3);$$

- інтенсивність дотичних напружень T

$$T = +\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2};$$

- показник напруженого стану Π

$$\Pi = \frac{\sigma}{T},$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - головні напруження, із яких σ_1 - найбільше, а σ_3 - найменше.

Напруженням, що розтягають, приписують знак плюс (+), а що стискають – знак мінус (-). При формозмінних операціях ХОШ більша частина заготовки знаходиться в умовах всебічного нерівномірного стиснення, тобто $0 > \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ та $\sigma_1 \neq \sigma_3$ при значної абсолютної величині σ . Отже, опір деформуванню заготовки при інших рівних умовах значно більший, ніж при витягуванні без потоншення та з потоншенням стінки, при яких головні напруження мають різні знаки, а абсолютна величина σ значно менша. Процеси витягування при листовому штампуванні базуються на прикладанні технологічного зусилля, що розтягає, величини σ та Π – позитивні. А чим меншу роль в процесі мають напруження, що розтягають, тим менше σ та Π і тим більша пластичність та деформуємість. Тому при операціях ХОШ деформації значно більші, ніж при витягуванні, а отже, більша продуктивність обробки та коротше технологічний цикл.

Деформуємість – здатність металевого тіла до пластичної деформації без макроруйнування.

Опір деформуванню – здатність деформованого тіла у цілому перешкоджати пластичної деформації. Мірою опору деформуванню є питоме зусилля p . Зусилля деформування або технологічне зусилля P – зовнішня сила (Н), що передається інструментом тілу, яке деформується, через поверхню тиску при обробки тиском. Питоме зусилля (Па) – зусилля деформування на одиницю площі тиску F .

$$p = \frac{P}{F}.$$

Площа тиску – проекція поверхні тиску на площину, що перпендикулярна до напрямку зусилля деформування. Поверхня тиску – поверхня деформованого тіла, через яку передається зусилля деформування.

Інструмент робочий – частини штампа, що стикаються безпосередньо або через проміжний шар з тілом, що деформується, через які передається зусилля деформування або створюється перешкода вільному переміщенню тіла. Інструмент, що деформує – робочий інструмент, через який передається прикладене зусилля, що деформує.

Проміжний шар – шар, що розділяє поверхні торкання деформованого тіла та інструмента (окисли, мастильний матеріал тощо). Для отримання високих показників мікрогеометрії виробу використовують інструмент і заготовки з високою якістю поверхні. Високі показники якості поверхні заготовок та інструмента в сполученні з значними питомими зусиллями та ковзанням інструмента відносно метала створюють необхідні умови для їх взаємного прилипання. Прилипання або адгезія це виникнення зв'язку між поверхневими шарами двох різнорідних тіл, що дотикаються – твердих, рідких та їх сполучень. Для того, щоб послабити та при можливості виключити взаємне присипання та схоплювання, необхідно застосовувати високоефективний проміжний шар, що забезпечує надійне розділення поверхонь деформованого тіла, що труться, та інструмента.

При отриманні деталей обробкою різання або заготовок гарячим штампуванням з подальшим вилученням припусків обробкою різанням, поверхневий шар товщиною до 2 мм і більше, в якому звичайно концентруються дефекти металургійного походження, вилучається. Якщо заготовка отримується методом ХОШ, то подальша обробка різанням із зніманням стружки, як правило, не проводиться. Отже, щоб деталь була якісною, необхідно використовувати при ХОШ сортовий прокат, який не містить в поверхневому шарі дефектів металургійного походження. Крім того, при ХОШ (особливо складних деталей на багатопозиційних автоматах) величина відносно деформації досягає 70-75 % і більше, тобто метал, що поступає на ХОШ, повинен бути досить пластичним.

В промисловості застосовують дві основні схеми технологічних процесів.

Перша схема складається із наступних основних етапів:

1. Різання прокату на мірні заготовки.
2. Розміцнювальна термічна обробка (РТО) заготовок.
3. Підготовка поверхні заготовок.
4. Штампування.

Штампування при першій схемі здійснюється, як правило, на вертикальних пресах з використанням одно- або багато позиційного штампа.

Друга схема:

1. РТО прокату.
2. Підготовка поверхні прокату.
3. Штампування.

Штампування за другою схемою відбувається на одно- або багато позиційному автоматі, на якому прокат піддається правленню, подається на відрізу позицію, а далі передається на штампування.

В залежності від конкретних умов виробництва (об'єму випуску, розмірів та складності форми виробу, характеристики деформуємість заготовок) схеми технологічних процесів можуть спрощуватися та ускладнятися, сполучатися та застосовуватися послідовно.

6.2. Підготовчі операції ХОШ

До підготовчих відносяться наступні операції:

- вибір матеріалу заготовок;
- вибір схеми відрізування заготовок від прутків;
- попередня та проміжна термообробка (розміцнювальна термічна обробка);
- підготовка поверхні заготовки під ХОШ.

Вибір матеріалу заготовок. Найбільш дешевий вихідний матеріал – гарячекатані прутки та катанка. Однак сортовий прокат має велике поле допуску за розмірами та низьку якість поверхні. Калібрування гарячекатаного прутка та катанки волочінням забезпечує необхідну точність заготовки за поперечним перерізом, покращує якість поверхні, але вартість металу дещо підвищується. При використанні автоматизованих пристроїв для різання та дозування об'єму (маси) заготовок при штампуванні висаджуванням та редукуванням висуваються підвищені вимоги щодо кривизни прокату. Правлення прокату проводять на роликівих або розтяжних машинах та на пресах.

Значний вплив на процес штампування та якості продукції надають дефекти металургійного походження та стан металу. У місцях виникнення рисок, волосовин, плівок,

закатів різного виду при штампуванні можуть виникнути розшарування та тріщини. Особливо високі вимоги до якості поверхневого шару вихідного металу пред'являються при штампуванні деталей з фланцями, виступами, різкими переходами на зовнішній поверхні, при використанні великих деформацій, наявності тангенціальних напружень, що розтягають. В цих випадках дефекти глибиною 0,05 мм і більші розкриваються та утворюються тріщини. Плівки на поверхні прокату при видавлюванні можуть відшаровуватися, що викликає забруднення штампа та заштампування їх в заготовку. Щоб виключити появу таких дефектів, якість прокату контролюють випробуваннями на осаджування до появи першої тріщини. Відносна деформація до появи першої тріщини залежить від марки матеріалу, способу його виготовлення та якості, і повинна складати при виробництві складних за формою деталей від 60 до 80 %.

Висока якість прокату – велика пластичність та деформуємість, низька газонасиченість та велика густина і, як їх наслідок, відсутність поверхневих дефектів металургійного походження, висока точність розмірів за перерізом та довжиною, низька шорсткість поверхні. Високої якості прокату досягають дотриманням оптимальної технології за усім металургійним циклом від виробництва металу до оброблених операцій при прокатуванні, дотриманням встановлених правил складування, зберігання та транспортування: виробництво низьколегованої сталі в кисневому конвертері, легованої сталі в електрометалургійних печах з накладанням вакууму; розкислення сталі на заключному етапі алюмінієм; отримання злитків для прокату безперервним литвом; прокатування за заданою програмою з проміжною та заключною розміщувальною термообробкою.

Якщо якість поверхневого шару прокату, що постачається металургійною промисловістю, не задовольняє вимогам технології штампування, то прокат піддають *обточуванню* зі зніманням шару товщиною до 0,8-2,0 мм. Допуск на діаметр після обточування (обдирки) – не більш 0,1 мм, шорсткість поверхні $Ra = 5...2,5$ мкм. Подальше збільшення товщини шару, що знімається, (більш 2 мм) економічно не доцільно та не дає помітного ефекту щодо підвищення якості. Прокат із корозійно-стійких сталей використовують для штампування *шліфованим*. У всіх випадках слід давати перевагу обточуванню, а не шліфуванню. Шліфування дорожче, ніж обточування, і після нього залишаються сліди абразиву, які знижують якість виробу та стійкість інструмента.

Після шліфування, обдирки різцевими головками та голкоподібними фрезами, матування, хімікомеханічного очищення поверхні на поверхні утворюється деякий рельєф, спрямованість якого впливає на зчеплення підзмащувального шару та змащувального матеріалу з металом. *Матування* - обробка поверхні щітками, що обертаються, які набрані із пучків сталевго дроту (діаметр щітки 170...220 мм, частота обертання 25...50 с⁻¹, діаметр дроту 0,10...0,12 мм). Найбільш проста та продуктивна технологія очищення поверхні прокату та створення рельєфу, що сприяє адсорбції мастильного матеріалу, не зв'язана з переведенням металу в стружку, але дозволяє вилучати тільки дрібні поверхневі дефекти (плівки та інше). Найбільші можливості мають обдирка голкофрезами, що складені в спеціальну головку, які дозволяють вилучати дефектний поверхневий шар та створювати сітчастий рельєф з оптимальним нахилом рисок до головної осі ($\approx 45^\circ$).

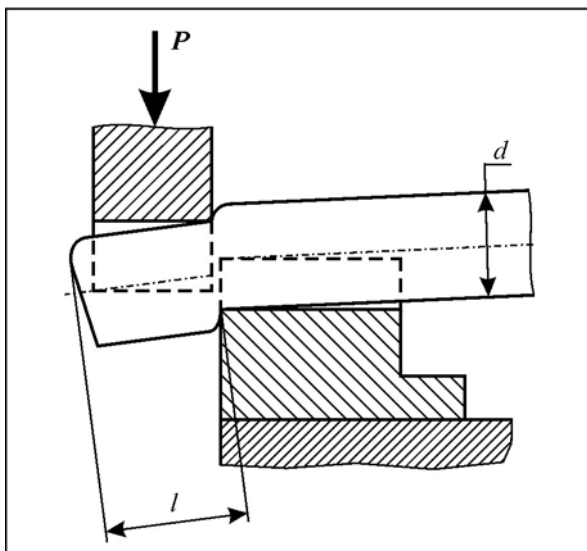
Травлення прутків або дроту сполучають з матуванням, крацеванням, накладанням ультразвуку або інших механічних впливів. Крацевання - обробка щітками, що обертаються, які набрані із пучків мідного або латунного дроту. При травленні прокату поверхневі дефекти металургійного походження стають вогнищами інтенсивної корозії, що знижує якість не тільки підготовки поверхні заготовки до штампування, але й готових деталей.

Розділення вихідного матеріалу на заготовки. Розділення прутків, дроту, труб на заготовки здійснюють в штампах на спеціальних ножицях, пресах (перша схема технологічного процесу) і прес-автоматах (друга схема технологічного процесу). Прутки та труби розрізають також на токарних станках і механічних пилах. Найбільш продуктивне та економічне відрізування заготовок в штампі. Собівартість відрізування в штампі нижче в 4...5 разів порівняно з відрізуванням на дисковій пилі.

Заготовки із плоского прокату отримують вирубуванням в штампах на пресах. При підвищених вимогах до якості поверхні деталі після вирубування здійснюють зачищення. Величина припуску на зачищення залежить від природи та товщини матеріалу та складає для сталі 7...8 % товщини заготовки. Кільцеві заготовки можуть також бути отримані із плоского прокату вирубуванням з пробиванням. Однак, при вирубуванні круглих шайб до 20...25 % і більше металу складає відхід.

Класифікація способів відрізування за ступеню обмеження переміщення та пластичного плину металу передбачає чотири способи відрізування:

- відкрите;
- неповністю відкрите;
- неповністю закрите;
- закрите.



Відкрите відрізування (рис. 6.1) виконується в відкритому штампі та відбувається при не обмеженому упорами або притискачами переміщенні прутка та в вертикальній площині частини, що відрізається.

Рис. 6.1. Схема відкритого відрізування

При відрізуванні відбувається вільний пластичний вигин частини, що відрізується, яка веде до значного викривлення форми заготовки, та поворот прутка. Спосіб не забезпечує усталеного положення прутка, що розрізується, і точної форми заготовок, тому його застосовують лише в одиничному виробництві для відрізування довгих заготовок ручними важільними ножицями

або простими штампами на ручних пресах.

Неповністю відкрите відрізування, у відмінність від відкритого, має обмеженість рухливості (повороту) прутка відносно нерухомого ножа в вертикальній площині, що досягається поперечним пасивним (рис. 6.2, а) або активним (рис. 6.2, б) затиском його в нерухомому ножі.

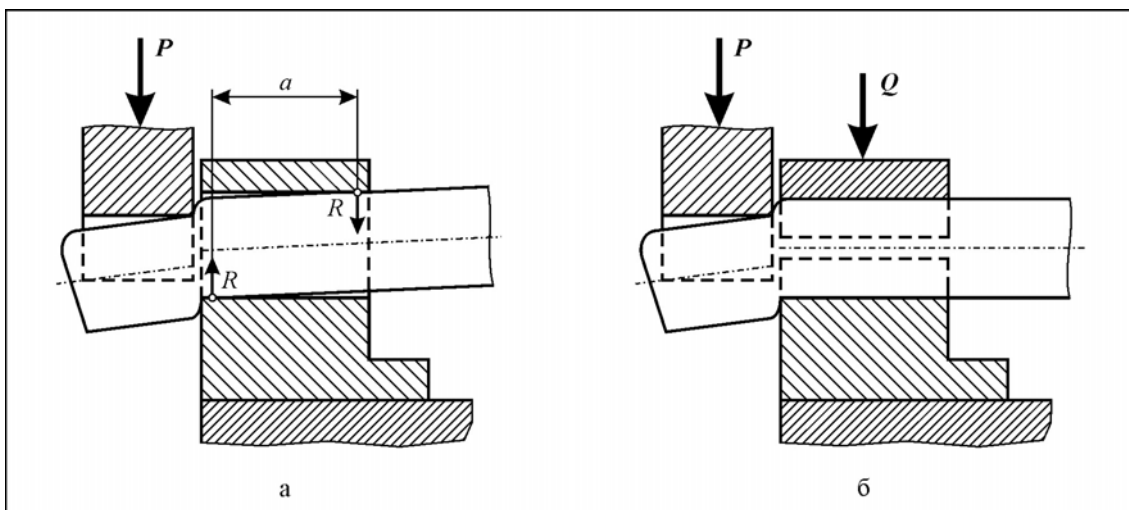


Рис. 6.2. Схеми неповністю відкритого відрізування: а – з пасивним поперечним затиском; б – з активним поперечним затиском

Під пасивним розуміють затиснення реактивними силами R , що діють на пруток з боку ножа. Ці сили виникають в процесі відрізування та пропорційні зусиллю деформування, тому після утворення поверхні поділу, коли зусилля знижується до нуля, зникають і сили поперечного затиску. Під час відрізування під дією пари реактивних сил створюється момент $M = R \cdot a$, що утримує пруток від повороту. Активний поперечний затиск прутка здійснюється в рознімному нерухомому ножі поперечною силою Q , що прикладається через гвинтовий, клиновий, важільний, пневматичний або гідравлічний пристрій.

При неповністю відкритому відрізуванні частина прутка, що відрізується, розташована консольно, її поворот не обмежений і в процесі відрізування вона піддається поперечному стисненню та вигину. У вогнищі деформації виникають значні напруження, що розтягають, які перевершують напруження при відкритому відрізуванні. Тому неповне відкрите відрізування приводить до більшого викривлення форми заготовки, причому задній торець викривляється сильніше переднього (несиметричне відрізування).

При неповністю відкритому відрізуванні м'яких матеріалів на заготовці з'являється значна утяжина, хвилястість торців, нерідко задирання та виривання на торцях. Неповністю відкрите відрізування застосовують для розрізування прутків із металів середньої та підвищеної твердості на заготовки довжиною не менш діаметра перерізу, у тих випадках, коли не пред'являються високих вимог до геометричної точності. Перевагами цього способу є простота вилучення заготовки (на провал), завдяки застосуванню відкритого рухомого ножа.

Викривлення форми заготовки при неповністю відкритому відрізуванні спостерігається, якщо відрізування ведуть при звичайних швидкостях деформування. Дослідження показали, що при високій швидкості (> 40 м/с) неповністю відкрите відрізування досить ефективно та забезпечує отримання геометрично точних заготовок.

Неповністю закрите відрізування принципово відрізняється від неповністю відкритого тим, що виключена можливість повороту та вигину не тільки прутка, але й відрізаної частини заготовки. Це досягається пасивним (рис. 1.3, а) або активним (рис. 1.3, б) поперечним затиском в ножах.

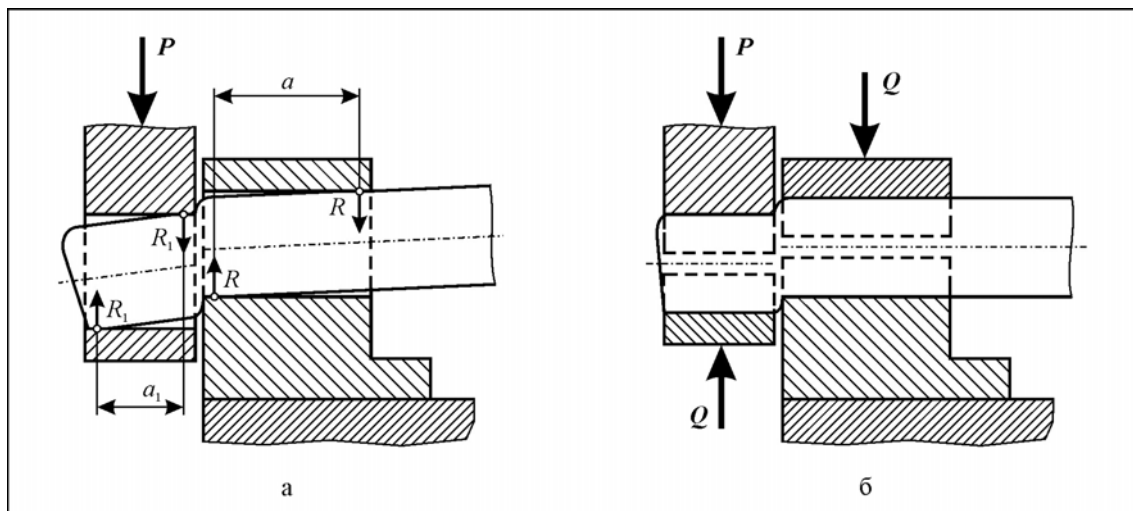


Рис. 6.3. Схеми неповністю закритого відрізування: а – з пасивним поперечним затиском; б – з активним поперечним затиском

Завдяки обмеженню вигину та зменшенню напруг, що розтягають, при неповністю закритому відрізуванні спостерігається менше викривлення форми заготовок, ніж при відкритому відрізуванні та неповністю відкритому. Тому неповністю закрите відрізування знаходить все більше розповсюдження для безвідходного відрізування в штампах і на сортових ножицях точних заготовок довжиною $0,8 \dots 1$ висоти перерізу прутка.

Неповністю закрите відрізування з пасивним поперечним затиском частіше всього виконують в штампах з суцільними втулковими ножами. При цьому завжди має місце поперечний зазор між прутком та отвором ножа, в межах якого можливий поворот (вигин) прутка та частини, що відрізається, який обмежений моментом реактивних сил $M = R_1 a_1$. При неповністю закритому відрізуванні з активним поперечним затиском пруток та його частина, що відрізається, затиснуті в ножах поперечними силами Q , внаслідок чого повністю виключений їх поворот. Остання схема відрізування є найкращою та найбільш перспективною при неповністю закритому відрізуванні. В штампах, на яких вона реалізована, можна відрізати найбільш точні для цього способу відрізування заготовки довжиною $> 0,8$ діаметра поперечного перерізу прутка.

Закрите відрізування (рис. 6.4) виконується в закритих штампах та відрізняється від інших способів тим, що частина прутка, яка відрізується, повністю замкнута в порожнині рухомого ножа, і у вогнищі деформації метал знаходиться у сприятливому для пластичного плинучого напруженому стані всебічного стиснення, який створюється накладанням активного осевого зусилля N , що стискує, з боку переднього торця або прутка. При достатніх напруженнях осевого стиснення поділ прутка відбувається шляхом пластичного зсуву за площиною контакту ножів. Повністю відсутній етап руйнування, і утворені пластичним зсувом торці мають гладку, плоску та перпендикулярну до осі заготовки поверхню. Цьому способу повністю відповідає назва «відрізування зсувом».

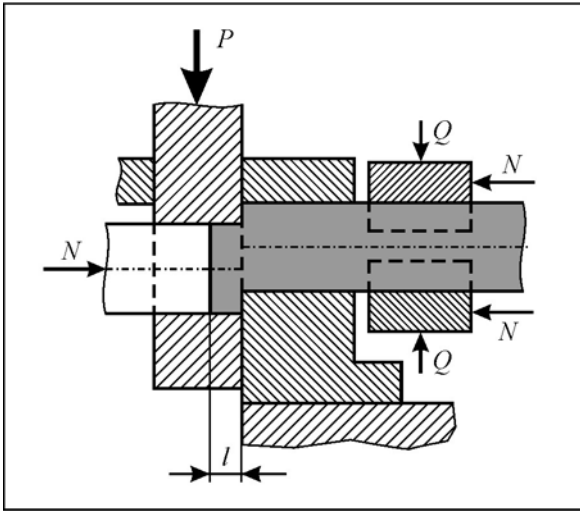


Рис. 6.4. Схема закритого відрізування з осевим стисненням

Закрите відрізування – єдиний спосіб із чотирьох, що принципово придатний для отримання геометрично точних коротких заготовок довжиною $> 0,1$ висоти перерізу прутка. При великих перевагах спосіб закритого відрізування володіє і суттєвим недоліком, що стримує його використання на виробництві. Нормальний хід процесу відрізування порушує контактне тертя між торцем заготовки та площиною ножа. В умовах великого питомого зусилля осевого стиснення металу в зоні різки, що має місце, контактне тертя викликає схоплювання металів заготовки та ножа, утворення

задирів, налипання.

Слід відмітити, що позитивні результати щодо способу закритого відрізування отримані лише для м'яких кольорових (Al, Cu) сплавів. Для сталевих прутків цей спосіб не застосовується.

Заготовки, що відрізані з використанням вказаних вище способів відрізняються за формою та розмірами зони пластичної деформації (рис. 6.5). Найменша зона утворюється при закритому відрізуванні.

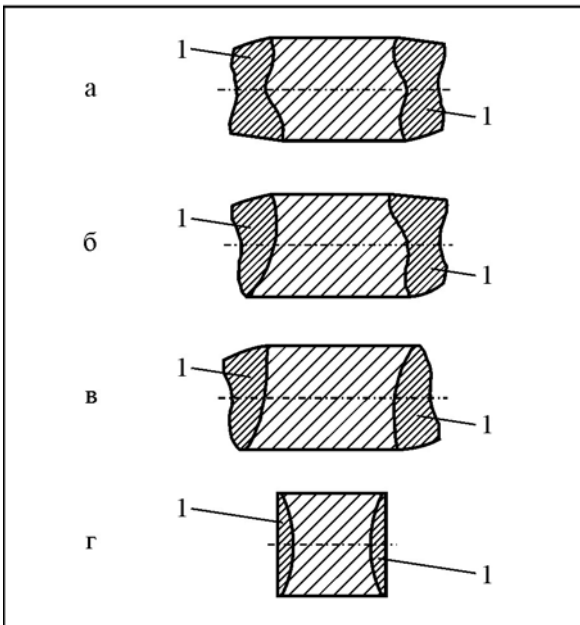


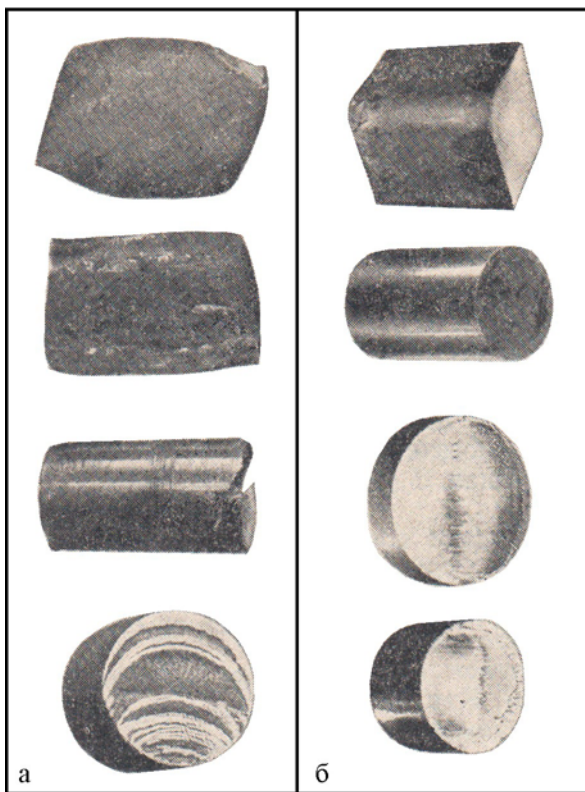
Рис. 6.5. Форма та розміри зони пластичної деформації (1) при відрізуванні: а – відкритому; б – неповністю відкритому; в – неповністю закритому; г – закритому

Таким чином, якість відрізування прокату залежить від правильного вибору способу відрізування (рис. 1.6).

Застосовують два способи покращання геометричної точності розмірів заготовки та якості торців заготовок:

- створення в зоні поділу умов, що забезпечують підвищення пластичності металу до рівня, при якому відсутнє руйнування і поверхня поділу утворюється пластичним зсувом. Спосіб реалізується застосуванням механічних систем поділу в умовах напруженого стану з перевагою напружень, що стискають (див. вище схему закритого відрізування на рис. 1.4);

- створення умов, що викликають збільшення хрупкості металу в зоні поділу, при яких поверхня поділу утворюється спрямованим



руйнуванням з малими пластичними деформаціями. Спосіб реалізується при використанні підвищених (більш 2 м/с) та високих (більш 25 м/с) швидкостей деформування, або зміною механічних властивостей металу в зоні різку. Покращання умов відрізування може бути досягнуто також нагріванням або глибоким охолодженням їх до температури зон хрупкості, а також попереднім поверхневим зміцненням. Так при розрізуванні прутків із мало вуглецевої сталі їх нагрівають до температури синеламкості (+300 °С), або охолоджують до температури -180...-196 °С.

Рис. 6.6. Заготовки, що відрізані від прутків при неправильному (а) та правильному (б) виборі способу, параметрів та умов відрізування

Усі способи розрізування прокату на заготовки методами обробки різанням зв'язані з додатковими відходами металу в стружку, що складають від 8 до 20 %.

Попередня та проміжна термообробка. Термообробку при виробництві деталей методами ХОШ поділяють на попередню, проміжну та кінцеву. Попередню термообробку проводять до основних формозмінних операцій штампування, проміжну – між формозмінними операціями, а кінцеву – після закінчення обробки методами пластичної деформації. Попередню та проміжну обробку проводять для підвищення технологічної деформуємості заготовок, що штампуються, кінцеву – для отриманої заданої структури, фізико-механічних властивостей деталі.

Технологічна деформуємість – комплекс властивостей тіла, що включає деформуємість та технологічне зусилля. Особливо важливими характеристиками цього комплексу при ХОШ є *питоме зусилля на інструмент та адгезія металу до інструменту*. Чим більше пластичність і деформуємість, менше питоме та технологічне зусилля, нижче здатність до налипання металу до інструменту, тим вище технологічна деформуємість заготовки при ХОШ. Термообробку з метою підвищення технологічної деформуємості заготовок при ХОШ називають розміцнювальною термічною обробкою (РТО). Технологічну деформуємість при РТО необхідно підвищувати до значень, при яких забезпечується стабільна робота інструмента без перевантажень та його висока стійкість, найменша кількість переходів без макро- та мікротріщин, надривів та інших дефектів, при умові отримання заданих механічних властивостей і структури готової деталі. Рішення поставленої задачі досягається сполученням режимів формозміни та термообробки. Вибір режиму термообробки визначається хімічним складом та структурою штампованого матеріалу, технологією штампування та експлуатаційними вимогами до деталі.

Попередня термообробка заготовок може проводитися до калібрування (тобто РТО піддається гарячекатаний метал), на одному із етапів калібрування та після калібрування. Сортовий прокат без додаткової термообробки має неоднорідну структуру, і властивості його нестабільні. Це пов'язано з тим, що динамічна рекристалізація при сортовому прокатуванні та вторинна рекристалізація при подальшому охолодженні не забезпечують повного розмінювання. Сталь після гарячого прокатування має помітні сліди зміцнення. Крім того, у сталях з підвищеним вмістом вуглецю і в ряді низьколегованих сталей при природному охолодженні відбувається зміцнювальна термообробка. Застосування гарячекатаного матеріалу без додаткової термообробки веде до підвищення питомих зусиль на 15...20 % і більше, що суттєво обмежує можливість застосування штампування. Попередня термообробка не проводиться, якщо немає техніко-економічної необхідності у зниженні опору деформації, підвищенню пластичності та технологічної деформуємості заготовки в цілому.

Попередня термообробка гарячекатаного (каліброваного) металу може проводитися на металургійних заводах, що випускають прокат, і на машинобудівних або метало оброблювальних заводах, що виготовляють штамповані деталі. Калібрування гарячого прокату волочінням підвищує показники штампованості, що отримуються для даної сталі при відпалі.

При складній формі сталевих заготовок, великої деформації для поновлення пластичності та зниженню опору деформуванню проводять проміжні відпали. Для вуглецевих та низьколегованих сталей застосовують звичайно два виду відпалу: простий (низькотемпературний при 530...600°) та рекристалізаційний (\approx 650...720°).

Найбільше зниження питомих зусиль при штампуванні досягається при отриманні крупнозернистої структури. Однак пластичність з підвищенням величини зерна зменшується. При штампуванні з наявністю тангенціальних напружень, що розтягають, це може привести до появи тріщин внаслідок крихкого (між зернами) руйнування.

Таким чином, необхідно уникати критичних та близьких до критичних (до 10...16 %) деформацій, особливо їх багатократного повторення, а в змушених умовах застосовувати низькотемпературний відпал (для сталей 530...600 °С). Прості на найбільш поширені види РТО – відпал (вуглецеві та низьколеговані сталі, мідь, алюміній, латуні, мідно-нікелеві сплави, дуралюміні та інші) та загартування (коррозійно-стійкі сталі аустенітного класу, берилієва бронза та інші).

Підготовка поверхні під ХОШ. Більшість процесів штампування характеризуються наступними умовами тертя:

- високими питомими зусиллями (до 2,0...2,5 ГПа і більше);
- нагріванням металу до 250...300 °С і більше внаслідок теплового ефекту при пластичній деформації;
- значним відносним переміщенням металу та інструменту;
- поновленням поверхні.

Для стабільної (протягом всього процесу деформування) відсутності безпосереднього контакту поверхонь заготовки та інструмента на поверхонь заготовки наносять проміжний шар, якість якого повинна відповідати наступним взаємопов'язаним вимогам:

а) надійне зчеплення з поверхнею заготовки та зберігання суцільного шару при деформації. Товщина проміжного шару під час деформації повинна бути більше відстані між западинами та виступами на поверхні заготовки та інструмента (як правило, не менш 0,1 мкм);

б) здатність зменшити сили молекулярного притягання між оброблюваним металом та інструментом, щоб знизити коефіцієнт зовнішнього тертя (до $\mu = 0,1$, а якщо можливо, до $\mu \ll 0,1$), а відповідно питомих та повних зусиль деформації, виключити задири на поверхні деформованого металу та його налипання на поверхню інструмента, знизити знос інструмента;

в) висока пластичність. Фактичне ковзання повинне проходити усередині проміжного шару, а не на поверхні заготовки та інструмента;

г) висока термостійкість, у тому числі високі температури возгонки та деструкції. Велика теплоємність, щоб поглинати тепло, що утворюється в шарі ковзання.

Найбільш просто проміжний шар створюють змазуванням заготовки. Дія змащувального матеріалу базується на адгезії до поверхні заготовки та деформуючого інструменту, яка залежить від фізичної природи металів заготовки та інструменту, стану контактних поверхонь та фізико-хімічних властивостей змащувального матеріалу. Однак, мінеральні олії з наповнювачами та домішками поверхнево-активних речовин, а також інші відомі мастильні матеріали, як правило, не задовольняють вимогам технології ХОШ. Товщина проміжного шару зменшується нижче допустимої межі, суцільність шару порушується, утворюються ділянки безпосереднього контакту заготовки та інструмента. В найбільшій мірі ці явища спостерігаються при видавлюванні та редукуванні, особливо при видавлюванні глибоких порожнин. Для забезпечення суцільності та заданої товщини проміжного шару в процесі деформації заготовку перед змащенням покривають шаром носію мастильного матеріалу. Покриття повинно задовольняти наступним основним вимогам:

- висока пластичність та міцність;
- термостійкість;
- надійне зчеплення з поверхневим шаром металу;
- зберігання суцільності шару за усією поверхнею заготовки при деформації;
- висока здатність до адсорбції та абсорбції (поглинання) по відношенню до мастильного матеріалу.

Вибір технології підготовки поверхні заготовки перед штампуванням є одним із вирішальних факторів, що визначає умови роботи інструмента та його знос, якість та трудомісткість виробництва штампованих заготовок та деталей. При штампуванні на автоматах операціям підготовки поверхні піддають калібрований прокат, а при штампуванні на пресах – мірні заготовки. Технологія підготовки поверхні в загальному випадку складається із двох основних етапів:

- вилучення дефектів та очищення поверхні від окалини, жирових та інших забруднень;
- нанесення проміжного шару.

Перший етап підготовки поверхні має метою забезпечення можливості нанесення проміжного шару, що задовольняє вимогам технології штампування та якості штампованої заготовки.

На другому етапі, як правило, спочатку на поверхню заготовки наносять покриття, а потім проводять змащування. Покриття носієм мастильного матеріалу може не проводитися при штампуванні із застосуванням осаджування та висаджування деталей простої форми, а також якщо забезпечується різка відмінність фізичної природи матеріалів заготовки та робочого інструмента (наприклад, мідний сплав – твердий сплав).

Для отримання шару носія змащувального матеріалу прокат або заготовки із вуглецевих сталей піддають *фосфатуванню*. Процес фосфатування полягає в нанесенні на поверхню прокату або заготовок стійкого при високих тисках шару кристалевих фосфатів. Фосфатний шар – високоякісний мастильний матеріал, володіє високою пластичністю і може деформуватися разом із матеріалом, що штампується. Фосфатні плівки, які міцно зчеплені з основним металом силами хімічних зв'язків, служать надійним розділовим прошарком між поверхнями інструмента та метала, що деформується. Вони запобігають явище холодного зварювання металу. Завдяки своїй пористості фосфатні покриття добре адсорбують та усмоктують мастильні матеріали (мило, олію та інші) і міцно утримують їх на своїй поверхні. Кращі антифрикційні властивості при видавлюванні заготовок із вуглецевих сталей мають покриття фосфатами марганцю та цинку, що просочені милом. Фосфатування з подальшим просочуванням милом застосовують також для заготовок із низьколегованих. Для легованих сталей, що містять нікель, більше 6 % хрому та нікелевих сплавів замість фосфатування застосовують оксалатування (покриття солями щавельної кислоти) з подальшим омилюванням, для алюмінію та алюмінієвих сплавів – анодування та змащення технічними жирами.

6.3. Поняття про формозмінні операції ХОШ

Прості та комбіновані операції. До числа найважливіших характеристик формозміни відносяться схема головних деформацій та симетрія течії металу. У виробництві заготовок та деталей методами ХОШ найбільше розповсюдження мають процеси з осьовою симетрією течії металу.

Усі формозмінні операції за кінематикою відносного руху металу та інструмента поділяють на прості та комбіновані.

Прості операції – це операції, в яких переміщення металу однозначно задано кінематикою руху інструменту, тобто метал має можливість рухатися відносно інструменту тільки в одному напрямку.

При **комбінованих операціях** метал має два або декілька напрямків руху. Комбіновані операції можуть бути послідовними та суміщеними. При послідовних операціях в загальному випадку на першому етапі реалізується одна кількість рухів, а далі інша. Найбільш простий і окремий випадок, коли на першому етапі реалізується рух в одному напрямку, а далі на наступному – рух в цьому напрямку припиняється і метал рухається в іншому напрямку, тобто процес складається із декілька простих операцій, що здійснюються послідовно в часі. На кожному етапі розрахунок силових, енергетичних, деформаційних та інших параметрів процесу здійснюють як для даної простої операції. Суміщена операція – окремий випадок комбінованої, при якій рух металу у двох або декілька напрямках здійснюється одночасно. Величина переміщення металу в кожному із напрямків строго не регламентована переміщенням інструмента (пуансона), що деформує. Формування вогнища деформації при суміщених та простих операціях, що забезпечують ту ж геометричну форму, при послідовному застосуванні, може бути різним. Для суміщеної операції визначення силових, енергетичних, деформаційних параметрів та інші технологічні розрахунки слід проводити з урахуванням конкретних умов формозміни. Загальна перевага усіх комбінованих операцій – зменшення числа штампувальних операцій, а відповідно

скорочення технологічного циклу, зменшення номенклатури штапового оснащення, та, як правило, підвищення точності розмірів виробів, що отримуються.

Усі прості формозмінні операції доцільно поділяти на відкриті та закриті. Відкриті операції іноді називають вільними. При відкритій операції переміщення металу в радіальному напрямку (перпендикулярному руху інструмента) не обмежено бічними стінками інструмента. Форма виробу в плані, тобто в напрямку руху робочого інструмента, не задана інструментом, визначається анізотропією металу анізотропією тертя, правильністю геометричної форми заготовки, в загальному випадку – правилом найменшого опору. При закритій операції переміщення металу у радіальному напрямку обмежено бічними стінками інструмента. Звичайно процес складається із двох етапів: відкритого, який поступово переходить в закритий. Прийнята назва «закрита операція» - умовна, так як контакт з бічними стінками у міру руху інструмента збільшується, але не може досягнути повного за усією площею, так як в цьому випадку настане всебічне стиснення, процес пластичної деформації припиниться, а потрібне зусилля (питоме та технологічне) теоретично досягне безкінечності. В реальних умовах відбувається практично миттєво зростання пружної деформації інструмента та деталей преса, пружна деформація переходить в пластичну, а пластична в руйнування найбільш слабкої ланки інструмента або машини. Таким чином, слід реалізовувати напівзакриті операції, що досягається відповідним налагодженням машини, або застосуванням запобіжника (порожнини, в яку видавлюється метал при перевищенні заданого зусилля).

Осаджування та висаджування. Осаджування (рис. 6.7, 6.8) – зменшення висоти заготовки при збільшенні площі її поперечного перерізу. Висаджування (рис. 6.9, 6.10) – осаджування частини заготовки.

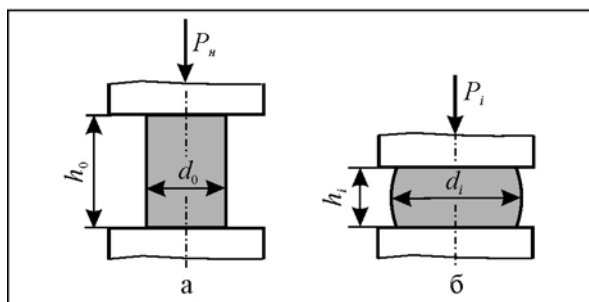


Рис. 6.7. Схема відкритого осаджування суцільної заготовки: а – початкова фаза; б – проміжна фаза

Осаджування відкрите (рис. 6.7) та висаджування відкрите (рис. 6.9) – операції, при яких стисненням металу між елементами штампа супроводжується вільною радіальною течією. Осаджування закрите (рис. 6.8) та висаджування закрите (рис. 6.10) – операції, при яких радіальна

течія металу обмежена бічними стінками штампа.

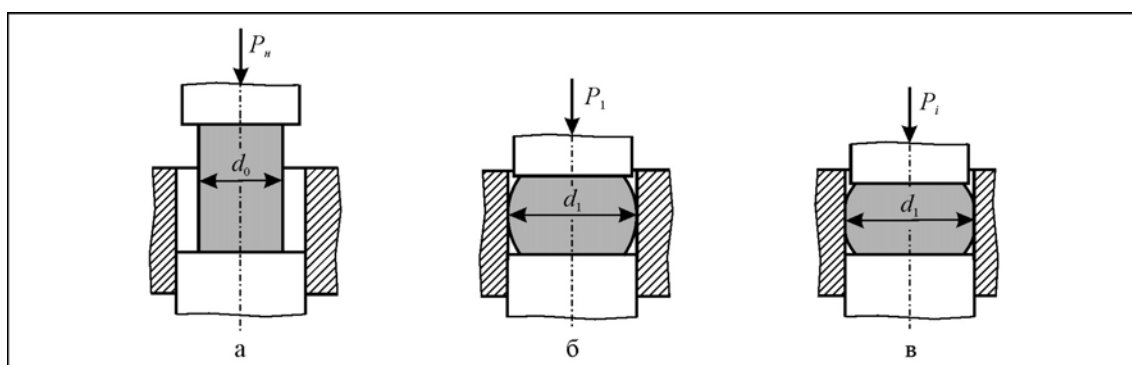
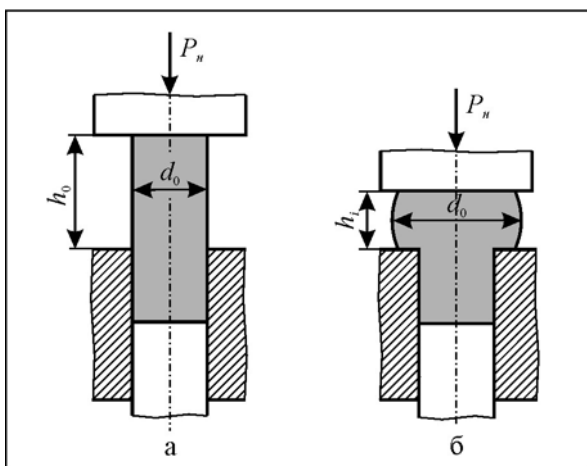


Рис. 6.8. Схема закритого осаджування суцільної заготовки: а – початкова фаза; б – момент зіткнення частини заготовки з бічною стінкою штампа; в – проміжний момент осаджування

Відкрите осаджування реалізується при стисненні циліндричного зразка між гладкими бойками. Реальні процеси осаджування характеризуються наявністю тертя по контактним поверхням. При цьому спостерігається:

- нерівномірність руху часток по контактній поверхні. Утворення зон прилипання;
- перехід бічної поверхні на поверхню контакту, тобто на торці тіла, що деформується;
- перехід від циліндричної зовнішньої поверхні до бочкоподібної (утворення бочки);



- макронеоднорідність деформації по об'єму тіла. Поділ об'єму тіла на зони.

Рис. 6.9. Схема відкритого висаджування суцільної заготовки: а – початкова фаза; б – проміжна фаза

При заданих значеннях d_0/h_0 та силах тертя на початку осаджування поряд з тенденцією природного радіального зміщення з'являються зустрічні сили тертя, що його стримують. Перебороти їх легше всього на периферії контакту; саме тут і з'являється зміщення, яке охоплює тим більшу за площею ділянку, чим менші сили тертя. Інша частина контактної поверхні – ділянка прилипання.

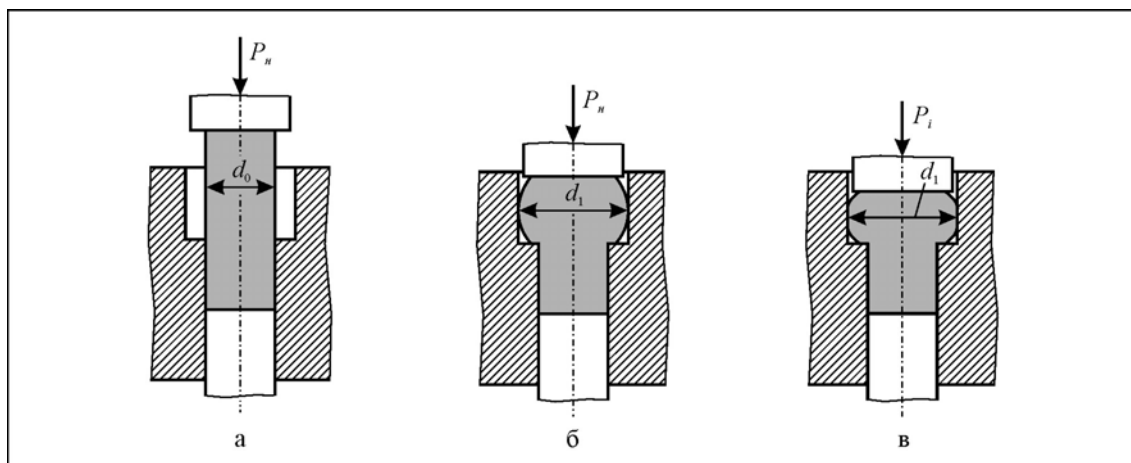


Рис. 6.10. Схема закритого висаджування суцільної заготовки: а – початкова фаза; б – момент зіткнення частини заготовки з бічною стінкою штампа; в – проміжний момент висаджування

Реальна деформація металу – нерівномірна. Головна причина появи макронеоднорідності деформації – контактне тертя. Поява зустрічних дотичних сил на контактній поверхні при осаджуванні приводить до поділу деформованого об'єму на зони. В практично можливому інтервалі значень d/h виявлено при осаджуванні чотири типу зон (рис. 6.11). Встановлено, що осаджування з $d/h \leq 0,4 \dots 0,7$ (рис. 6.11, а) характеризується наявністю усіх чотирьох типів зон:

- до контактних поверхонь примикають куполоподібні зони *I* утрудненої деформації;
- до них примикають дві зони *II* локалізованої деформації, в яких діють максимальні тангенціальні напруження під кутом 45° до осі зразка;
- є також дві зони *III*, в яких діють кільцеві напруження, що розтягають;
- між зонами *II* розташовується центральна зона *IV*, в якій найбільш рівномірна.

В початковій стадії осаджування відбувається подвійне бочкоутворення зразка, яке при $d/h \approx 0,7 \dots 0,8$ зникає (рис. 6.11, б, в). При цьому на периферії зона *IV* переходить в зону *III*, яка стається однією кільцевою зоною для всього зразка; в середній частині зона *IV* поглинається двома зонами *II*, які об'єднуються а загальну в поздовжньому перерізу хрестоподібну форму (рис. 6.11, в). Подальше осаджування пов'язане із значним розвитком зони *I* (рис. 6.11, г), що має в цей час вже деяку деформацію (але менше середньої для усього зразка). Отже, зоною, що характеризується дуже невеликими деформаціями, становиться лише середня частина зони *I'*. В периферійній частині зони *I''* утрудненої деформації к цьому моменту вже є деяка ступінь деформації, але менша, ніж середня для усього об'єму. В зоні *I'''* є метал, який перейшов із зони *III*, який вже деформований у більшій степені, ніж це характерно для зони утрудненої деформації. Зона утрудненої деформації, як і інші зони, не має різко обрисованих меж і, в свою чергу,

характеризується нерівномірною деформацією (зональною нерівномірністю). Перехід металу із однієї зони в іншу при нерівномірній деформації відбувається безперервно.

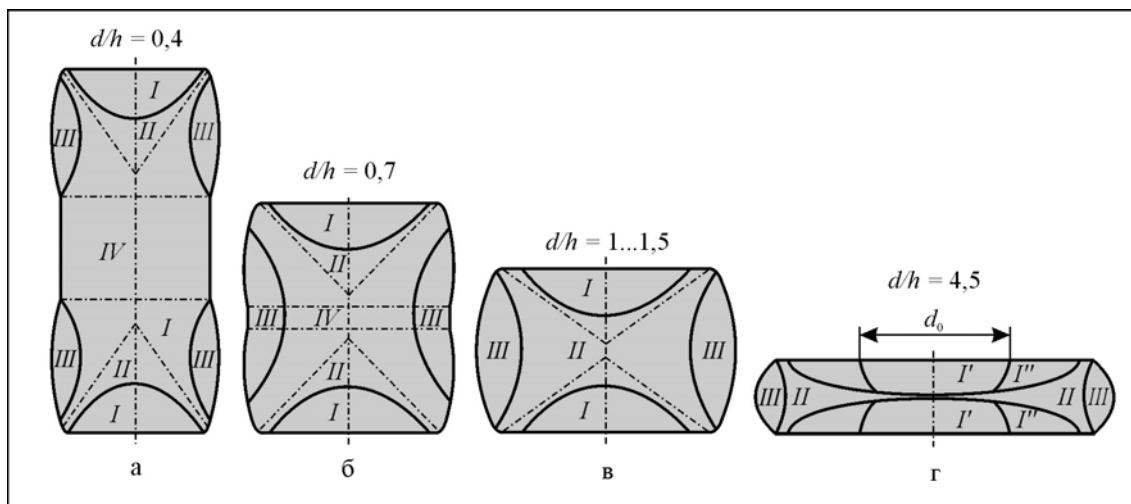


Рис. 6.11. Зони деформації при осаджуванні циліндричного зразка з тертям

Зони утрудненої деформації, що мають куполоподібну форму, надають при осаджуванні дію клину на метал, що знаходиться між ними. Із-за деякої відстані між цими зонами метал, що переміщується в радіальному напрямку, утворює два самостійних пояса опуклостей. При зближенні зон утрудненої деформації ($d_0/h_0 \geq 0,8$) утворюється загальний кільцевий пояс у вигляді опуклості бочкоподібної форми тіла, що осаджується.

Нерівномірність деформації при осаджуванні, що проявляється у вигляді бочки утворення, звичайно не бажана, так як приводить до перевитрати металу та додатковим витратам часу та коштів на вирівнювання поверхні поковки.

Бочкоутворення при осаджуванні циліндру супроводжується зменшенням його бічної поверхні внаслідок складкоутворення. При цьому спостерігаються мікроскопічні та макроскопічні складки, що розташовані кільцями. При значних деформаціях мікро- тріщини розвиваються, переходячи у макротріщини, за якими судять про вичерпання деформуєності заготовки.

Для зменшення бочкоутворення, скорочення сил тертя, що гальмують, та зменшення питомого зусилля застосовують конічні та опуклі бойки.

Усталеність циліндричних заготовок при осаджуванні та висаджуванні оцінюють за відношенням

$$a_0 = h_0 / d_0.$$

При відкритому висаджуванні критичне значення $a_{кр} = 1,7...2,3$ та залежить від коефіцієнта тертя, виду закріплення заготовки та механічних властивостей матеріалу.

Відкрите осаджування застосовують для калібрування за висотою, отримання паралельних торців заготовки та зменшення відношення d/h .

Процес **закритого осаджування** суцільного стрижня (рис. 6.8) відбувається у дві стадії:

- I стадія: при $d_0/h_0 < a_{кр}$ відкрите осаджування до торкання опуклою частиною (бочкою) бічної поверхні заготовки стінок інструмента:

- II стадія: закрите осаджування, при якому відбувається стиснення металу між плоскопаралельними елементами штампа, що супроводжується радіальною течєю в клинову щілину за периметром.

Закрите осаджування застосовують для калібрування за висотою та діаметру (поперечному перерізу), отримання паралельних торців, що перпендикулярні основній осі заготовки, зменшення відношення d/h , виробництва заготовок для видавлювання порожнини, роликів підшипників та інших деталей відповідального призначення.

Висаджування. Відкрите висаджування (рис. 6.9) здійснюють з защемленням одного та обох кінців заготовок. Кінематика течію металу при відкритому висаджуванні одного із кінців заготовки з боку бійка та відкритого осаджування практично однакова. Однак процес ускладнюється наявністю защемлення, а відповідно необхідністю переходу бічної поверхні на торець незалежно від геометрії вихідної вільної частини заготовки, коефіцієнта тертя та величини деформації. В найбільш повній мірі цей процес відбувається при висаджуванні середньої частини заготовки. Процес характеризується стадіями, а деформований об'єм поділяється на ті ж зони, як при осаджуванні. Однак бочкоподібність розвивається значно сильніше.

Відкрите висаджування застосовують для калібрування заготовок, утворення місцевих поповнень на одному із кінців, обох кінцях та середній частині заготовки, набору металу для подальшого штампування при виробництві заготовок кріпильних та інших ступінчастих деталей.

При **закритому висаджуванні** суцільного стрижня (рис. 6.10) відбувається:

- відкрите висаджування до торкання опуклих частин заготовки зі стінками інструмента (матриці чи пуансона);

- закрите висаджування, тобто оформлення бічної поверхні за усією довжиною частини, що висаджується, яке супроводжується утворенням задирки в місці рознімання інструмента.

Закрите висаджування, також як і відкрите, широко застосовується для набору металу для подальшого штампування. В цьому випадку особливу значимість має усталеність вільної частини заготовки. Набір металу висаджуванням здійснюється за схемами, що показані на рис. 6.12.

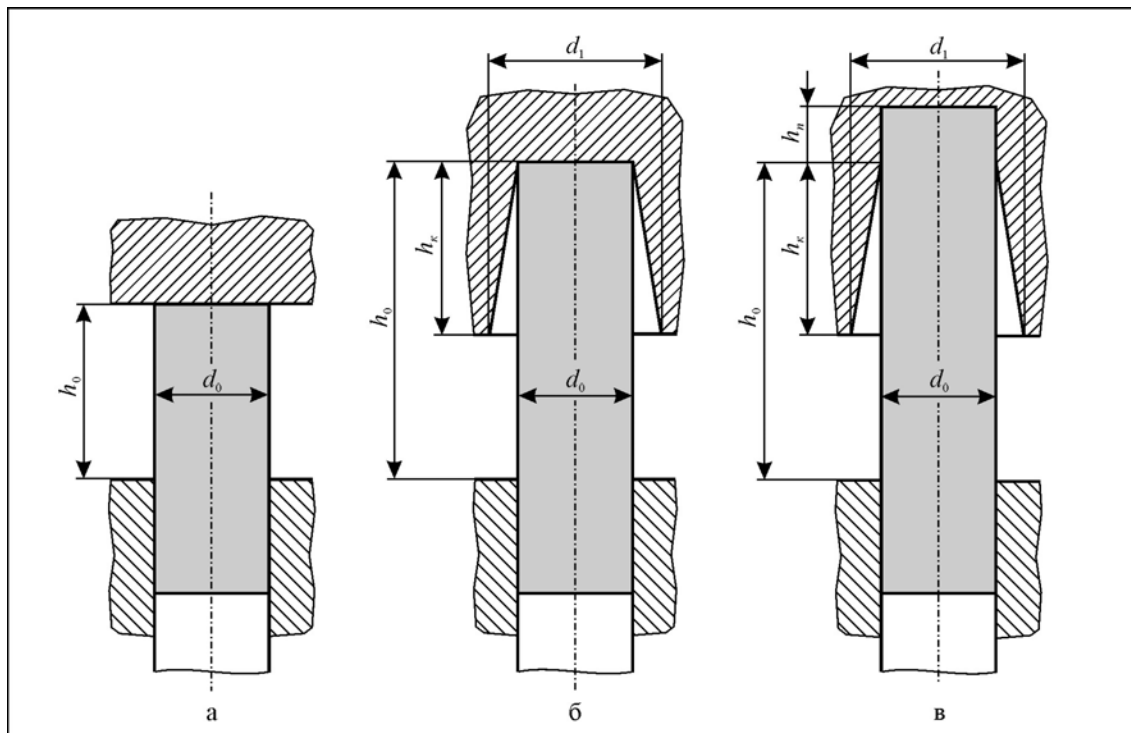


Рис. 6.12. Схеми попереднього висаджування: а – плоским пуансоном; б – пуансоном з конічною порожниною; в – пуансоном з конічною порожниною та циліндричним пояском

Найменшу усталеність заготовка має при відкритому висаджуванні (рис. 6.12, а). Найбільш часто у промисловості застосовують пуансони попереднього висаджування з порожниною у вигляді усіченого конусу (рис. 6.12, б). Відношення розмірів конічних гнізд $d_1/d_2 = 1,20 \dots 1,48$. Для підвищення усталеності заготовки в пуансонах попереднього висаджування виготовляють циліндричний поясок, висотою $0,5 \dots 10$ мм (рис. 6.12, в). Найбільше $a_{кр}$ відповідає третій схемі, що дозволяє підвищити величину $a_{кр}$ до $2,6 \dots 3,0$.

Закрите висаджування застосовують для утворення місцевих потовщень, фланців, набору металу для подальшого штампування з заданою формою та розмірами перерізу,

калібрування заготовок, при виготовленні деталей типу кулькових пальців, ступінчастих валів, штуцерів, а також трипільних та інших ступінчастих деталей.

Видавлювання. В промисловості застосовують два близьких щодо механіки, але різних за призначенням процесу: пресування та видавлювання. Обидва процеси основані на видавлюванні металу крізь отвір в інструменті. У відміню від пресування при штампуванні (видавлюванні) не видавлений із матриці метал – частина деталі.

Пряме видавлювання. При прямого видавлюванні прямого суцільного стрижня із суцільної заготовки течія металу заготовки відносно бічних стінок матриці проходить у напрямку, що збігається із напрямком руху пуансона (рис. 6.13).

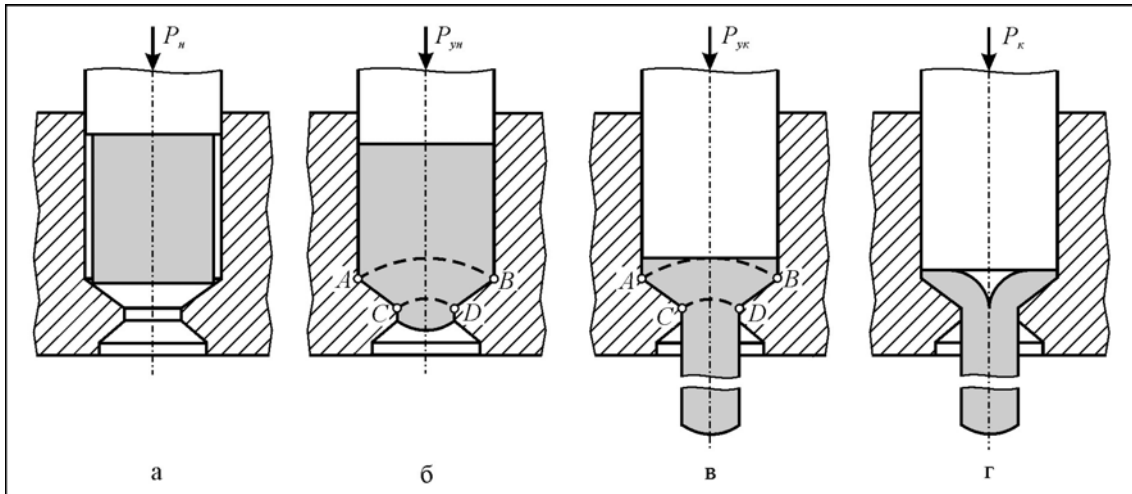
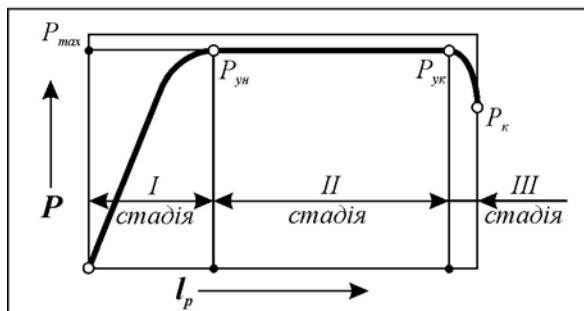


Рис. 6.13. Схема прямого видавлювання суцільного стрижня: а – початкове положення; б – момент закінчення першої стадії; в – момент закінчення другої стадії; г – проміжний момент третьої стадії



Типова крива якісної залежності технологічного зусилля від ходу пуансона при прямому видавлюванні суцільного стрижня приведена на рис. 6.14.

Рис. 6.14. Якісна залежність технологічного зусилля P від ходу пуансона l_p при прямому видавлюванні

Перша стадія прямого та інших способів видавлювання називається розпресуванням. При розпресуванні (рис.

6.13, а, б) відбувається заповнення усіх зазорів між інструментом та заготовкою, заготовка повністю приймає форму робочого інструмента. В кінці стадії (рис. 6.13, б) закінчується формування вогнища деформації. $ABCD$ – приблизний контур вогнища деформації при прямому видавлюванні (показано пунктиром). Зусилля по закінченню першої стадії при прямому видавлюванні досягає максимального значення.

Другу стадію процесу звичайно називають такою, що встановилася. Однак зусилля видавлювання незначно зменшується, що пов'язано зі зменшенням висоти заготовки, що залишилася в матриці (переборення сил тертя P_{μ} . В момент торкання робочої поверхні пуансона з межею вогнища деформації (рис. 6.13, в) друга стадія закінчується.

При продовженні руху пуансона до зустрічі з кромкою робочої частини матриці відбувається **третьою заключною стадією**, яка називається не стаціонарною. Деформування вогнища деформації супроводжується різким підвищенням відносних швидкостей переміщення металу в центральній зоні з утворенням центральної та бічної утяжин (рис. 6.13, г).

Профілі робочої частини матриць при прямому видавлюванні (рис. 6.15):

- плоскі матриці (рис. 6.15, а) не слід застосовувати, оскільки при видавлюванні утворюється жорстка зона, яка пластично не деформується, між вогнищем деформації та кутом матриці. В цій зоні виникають тріщини. Матриця швидко виходить із ладу;

- конічні матриці (рис. 6.15, б) – найбільш поширені. Їх основна характеристика – величина 2α . Конічна матриця з кутом 2α , що забезпечує найменше зусилля, не є, однак, оптимальною;

- матриці з криволінійним профілем (рис. 6.15, в, г) – більш оптимальні, так як забезпечують мінімізацію питомого зусилля. Найбільш кращі показники забезпечують сигмоїдальні матриці, що мають вогнуто-опуклий профіль (рис. 6.15, г).

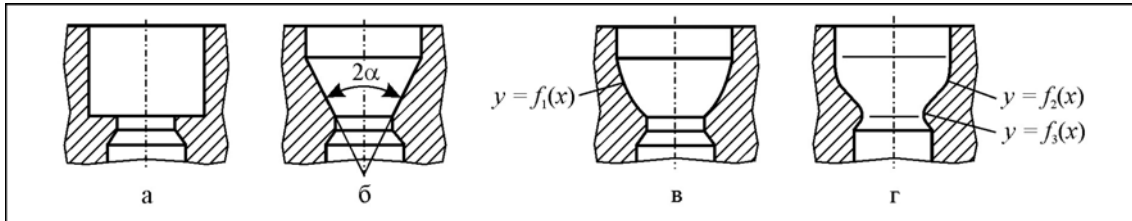


Рис.6.15. Профілі робочої частини матриці при прямому видавлюванні суцільного стрижня

При прямому видавлюванні порожнього стрижня із суцільної заготовки (рис. 1.16) напрямком течії металу заготовки відносно бічних стінок матриці та напрямку руху пуансона збігаються. Пуансон, що утворює порожнину, та матриця відносно нерухомі. Сила, що діє на пуансон, що утворює порожнину, порівняно із зворотним видавлюванням, внаслідок скорочення дії реактивних сил тертя зменшуються, але конструктивне оформлення процесу ускладнюється. Процес застосовують для виготовлення заготовок гільз, ковпачків, стаканів та інших трубчастих деталей з гладкою та ступінчастою зовнішньою поверхнею.

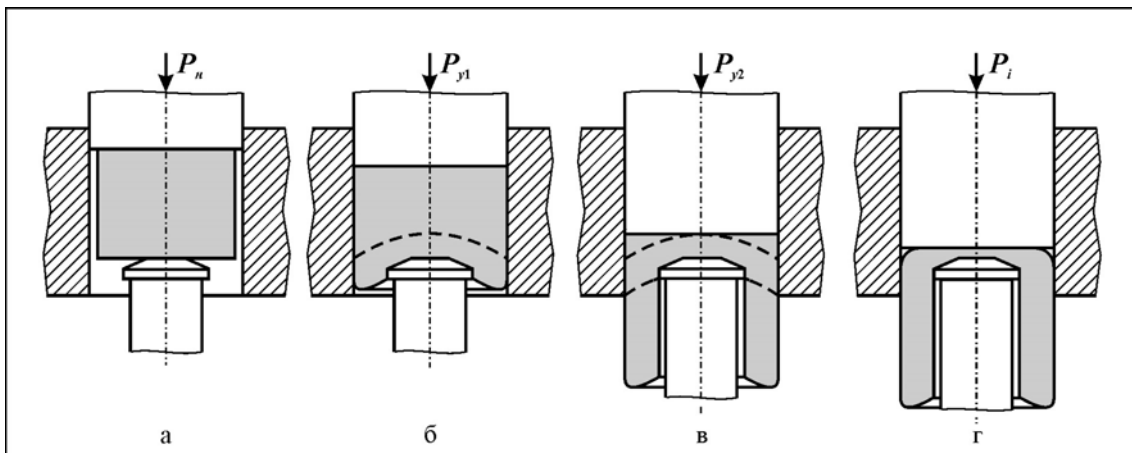


Рис. 6.16. Схема прямого видавлювання порожнього стрижня із суцільної заготовки: а – початковий момент; б – момент закінчення першої стадії (розпресування) та початок другої стадії, що встановилася; в – момент закінчення другої та початок третьої стадії, що не встановилася; г – проміжний момент третьої стадії

При прямому видавлюванні порожнього стрижня із порожньої заготовки (рис. 1.17) напрямком течії металу заготовки відносно бічних стінок матриці і оправки (голки), також рух пуансона збігаються. Процес застосовують для виготовлення заготовок тонкостінних гладких та ступінчастих деталей із наскрізною та глухою порожниною.

Редакування. При редакуванні суцільного стрижня між заготовкою та бічними стінками порожнини матриці є зазор. Він потрібен для виключення тертя між заготовкою та бічними стінками матриці.

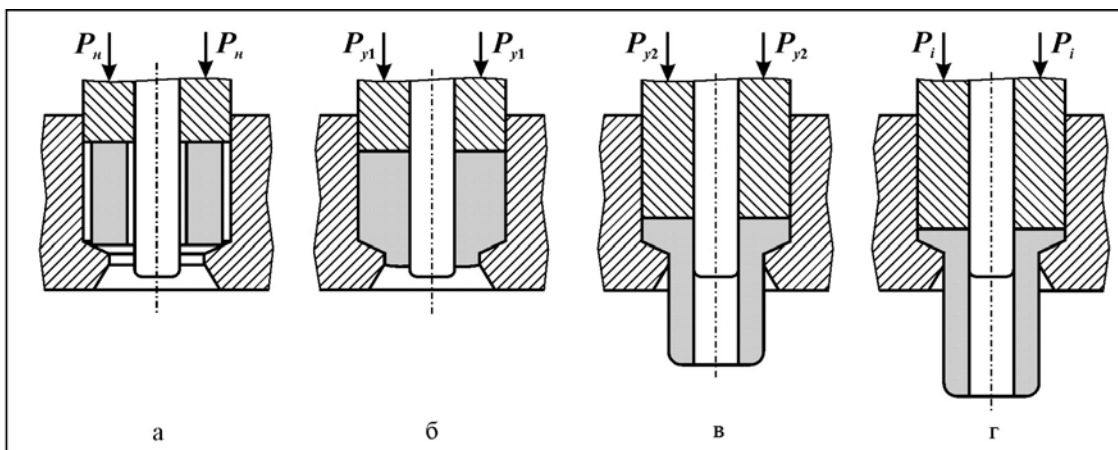


Рис. 6.17. Схема прямого видавлювання порожнистого стрижня із порожнистої заготовки: а – момент початку видавлювання; б – момент закінчення першої стадії (розпресування) і початок другої стадії, що встановилася; в – момент закінчення другої та початок третьої стадії, що не встановилася; г – проміжний момент третьої стадії

Порівняно з прямим видавлюванням, редакування забезпечує більшу точність розмірів, меншу шорсткість поверхні виробу та значно більшу стійкість інструмента.

Редакування застосовують при виготовленні заготовок ступінчастих валів, шестерен, деталей зі шліцами та канавками.

Зворотне видавлювання. При зворотному видавлюванні порожнього стрижня постійного перерізу із суцільної заготовки течія металу заготовки та відносний рух пуансона відбуваються у протилежних напрямках (рис. 6.18, 6.19).

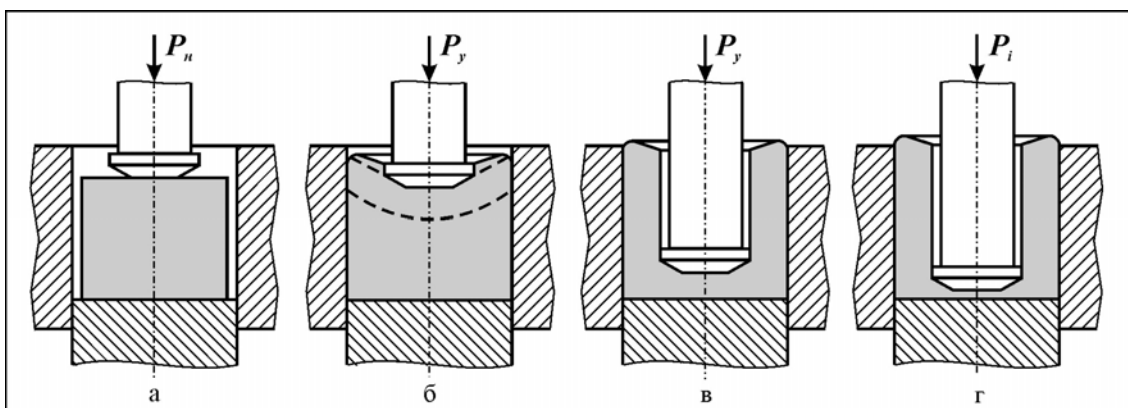
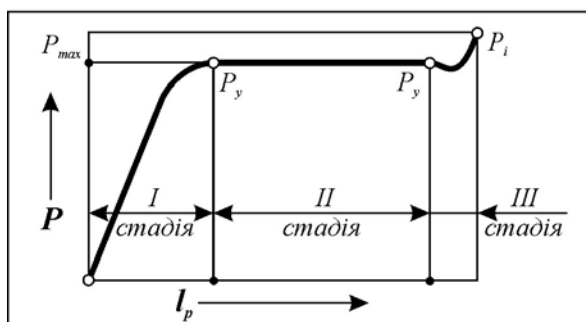


Рис. 6.18. Схема зворотного видавлювання порожнього стрижня (деталі типу склянки) із суцільної заготовки: а – момент початку видавлювання; б – момент закінчення першої та початок другої стадії; в – момент закінчення другої та початок третьої стадії; г – проміжний момент третьої стадії процесу



На **першій стадії** відбувається розпресування. Стадія закінчується формуванням вогнища деформації (рис. 6.18, а, б).

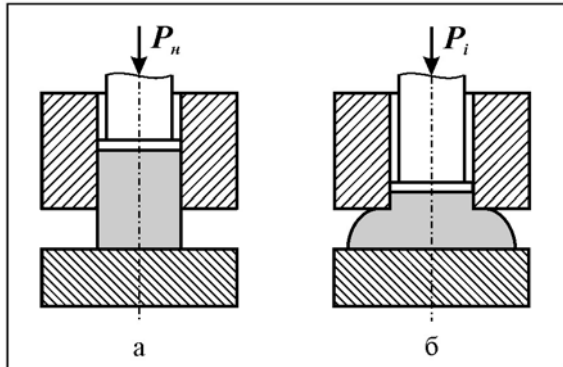
Рис. 6.19. Якісна залежність технологічного зусилля P від ходу пуансона l_p при зворотному видавлюванні деталі типу склянки із суцільної заготовки

Друга стадія наближена до стаціонарної. Зусилля практично не змінюється (рис. 6.18, б, в).

На початку **третьої стадії** (осаджування вогнища деформації) відбувається деяке зменшення зусилля деформації за рахунок утворення утяжин, а далі інтенсивне його зростання (рис. 6.18, в, г).

Порівняно з прямим видавлюванням, величина навантаження на пуансон при зворотному видавлюванні трохи більше, але конструктивне оформлення процесу простіше.

Поперечне видавлювання (рис. 1.20). При поперечному видавлюванні кругова течія металу відносно бічних стінок матриці аналогічна прямому видавлюванню. Метал видавлюється в



кругову за діаметром щілину постійної висоти під кутом звичайно 90° до напрямку руху пуансона. Довжина заготовки, що знаходиться у матриці, як і при прямому видавлюванні, обмежена умовами тертя. Процес також здійснюється у три стадії.

Рис. 6.20. Схема кругового відкритого поперечного видавлювання одного із кінців суцільної заготовки: а – момент початку видавлювання; б – проміжний момент видавлювання

Розділ 7 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

7.1. Основні етапи формозміни

Процес формозміни заготовки при штампуванні як на пресах, так і на автоматах, в загальному випадку складається із **чотирьох етапів**:

- I етап: калібрування;
- II етап: фасонування вихідної заготовки;
- III етап: основні штампувальні операції;
- IV етап: калібрування після штампування.

Деякі із цих етапів, крім третього, можуть бути відсутні. Наприклад, на однопозиційних холодновисаджувальних автоматах, де штамнуються кріпильні та інші ступінчасті суцільні деталі відносно простої форми (заклепки, болти тощо), операція калібрування та інші формозмінні операції, крім однієї штампувальної, відсутні.

Калібрування та фасонування заготовки.

Калібрування заготовки, як правило, необхідно застосовувати перед видавлюванням порожнини. Перед висаджуванням, редагуванням та іноді перед прямим видавлюванням суцільного стрижня калібрування не проводять. Деякі схеми калібрування приведені на рис. 7.1.

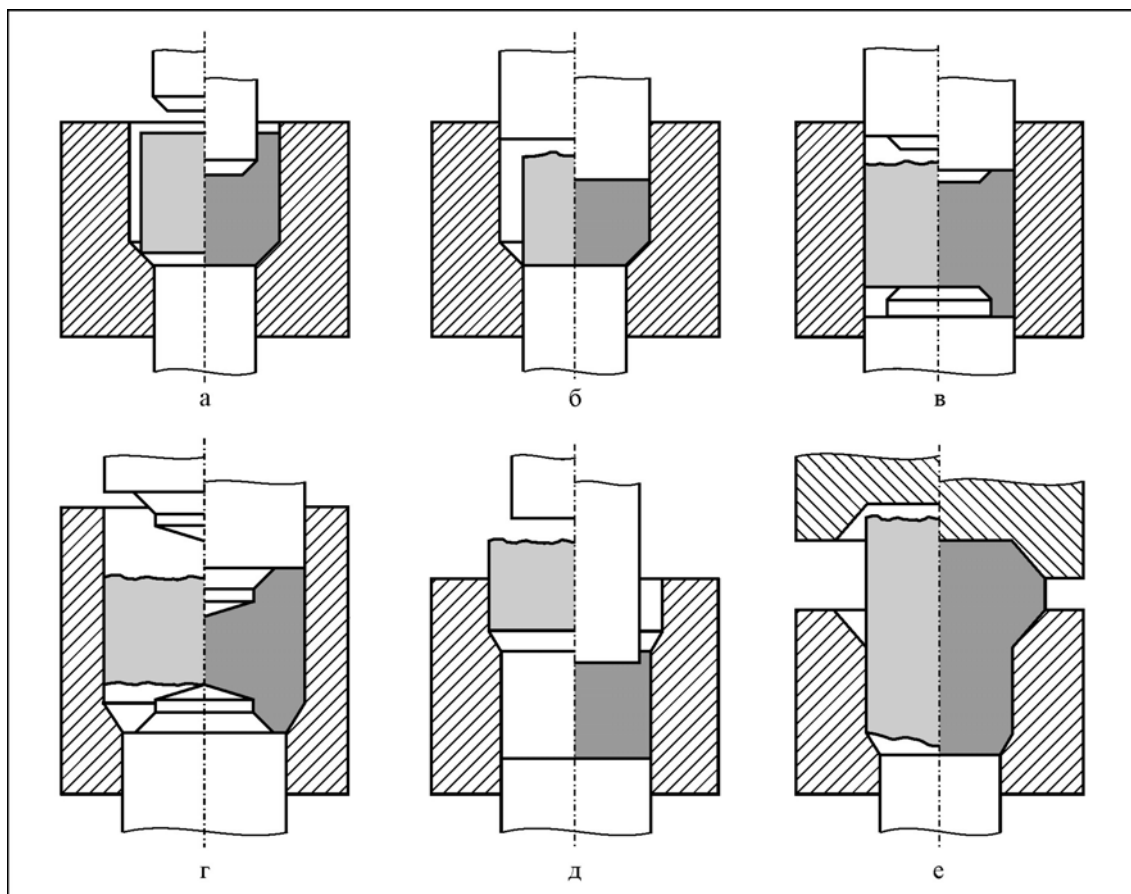


Рис. 7.1. Схеми калібрування

На рис. 7.1, а показана формозміна, при якій досягають розмірів периметру перерізу заготовки, близьких до розмірів периметра інструмента. Одночасно усуваються невідповідності поперечних розмірів та допусків на них вихідного прокату за діючим стандартом, та заготовки для першого переходу (еліптичність перерізу, поздовжня кривизна та відхилення від паралельності торців).

На рис. 7.1, б показане калібрування поперечного перерізу з деформацією $e = 0,03 \dots 0,05$, яка не підвищує найбільшого зусилля при штампуванні, але створює більш плавне навантаження пуансона, що утворює порожнину, скорочує неоднорідність деформації та різностінність при видавлюванні, підвищує усталеність процесу пластичного деформування при редагуванні. Там же показано утворення фаски на одному із торців, що необхідно для механізації подавання заготовки у штамп. Крім того, якщо заготовка не має фасок на торцях, то при штампуванні утворюються задирки, а при товщині дна менше й...1,5 товщини стінки порожнини (тобто приблизно 5 мм та менше) фаска сама утворюється шляхом сколювання. Метал, що сколовся, та задирки, забруднюють порожнину штампа, погіршують якість продукції та викликають передчасний вихід із ладу інструмента.

На рис. 7.1, в показано утворення позначки, на рис. 7.1, г – кернування торців заготовки під пуансон для видавлювання порожнини. Наявність неглибокої порожнини, що відповідає за формою та розмірами робочої частини пуансона, скорочує ексцентричність встановлення пуансона в початковий момент видавлювання порожнини. Зменшення ексцентричності прямо пропорційне відношенню довжин незакріплених частин пуансонів для видавлювання та калібрування (при інших рівних умовах). Наявність позначки скорочує різностінність видавленої порожнини та зменшує навантаження на пуансон від поперечного вигину. Порожнина позначки може бути заповнена мастильним матеріалом необхідної в'язкості, при якій забезпечується гідродинамічне тертя при видавлюванні порожнини.

При калібруванні редакуванням (рис. 7.1, д) зі зменшенням діаметру на 0,3 мм і більше підвищується якість поверхні заготовки.

При **фасонуванні** отримують форму заготовки, яка сприяє течію металу у всі елементи порожнини штампа при найменших навантаженнях на інструмент, мінімальній сумарній деформації як локальній, так і за усім об'ємом тіла. Фасонування заготовки повинно забезпечити на штампувальних операціях можливо більш рівномірну деформацію, виключити можливість втрати усталеності пластичного деформування, локалізації деформації, наслідком якої може бути руйнування. Форма отриманої заготовки повинна сприяти утриманню мастильного матеріалу, а при операціях, що пов'язані зі значним ковзанням контактних поверхонь (наприклад, пряме видавлювання, редагування), захопленню мастильного матеріалу. Вибір форми вихідної заготовки повинен виключити можливість розривання шару покриття носія мастильного матеріалу при штампуванні.

Для зниження питомих та технологічних зусиль, накопиченої деформації та її нерівномірності за об'ємом тіла при оформленні складних елементів конструкції поковки необхідно мати:

- два або декілька напрямків течії металу;
- певний запас об'єму металу («акумулятор»), який частково або повністю піде на утворення заданого елемента конструкції поковки.

Отриману після калібрування заготовку без проміжної термообробки та підготування поверхні можна спрямовувати на основні штампувальні операції. Фасонування заготовки слід, як правило, сполучати з калібруванням (рис. 2.1, е). Однак, якщо калібрування сполучалася з фасонуванням (утворення конусів, зміною профілю перерізу тощо) та відносна деформація $e > 0,15$, то для латуней, бронзи, нікелю, нікелевих сплавів та сталі при штампуванні на пресах доцільно провести РТО та повторне підготування поверхні. РТО. Це дозволить використати найбільш повно технологічні можливості штампування на пресах у відміну від штампування на автоматах. Питання про необхідність РТО та підготування поверхні перед калібруванням та фасонуванням вирішується в залежності від умов деформації.

7.2. Штампувальні операції

Штампуння із штучної заготовки на пресах, порівняно із штампуванням із каліброваного дроту або прутка на автоматах, значно розширює технологічні можливості процесу:

- максимальний діаметр (розмір) може бути підвищений порівняно з автоматами з 35...40 до 100...150 мм. Довжина заготовок – до 0,2...2,5 діаметрів, тобто до 250...300 мм при штампуванні на механічних пресах і до 1м і більше при застосуванні механічних пресів спеціальних конструкції та гідравлічних пресів. Маса заготовок на механічних пресах досягає 12...15 кг, а на механічних пресах спеціальних конструкції і гідравлічних пресах – 20...40 кг, а в окремих випадках до 120 кг;

- підвищена точність заготовок, що штампуються, особливо за поперечним перерізом, що забезпечується конструкціями як преса, так і штампа. Можливість встановлення заданої точності напрямних елементів його конструкції за мірою їх зношування. Підвищена точність позиціонування при багато позиційному штампуванні;

- вимоги до технологічної деформуємості заготовок можуть бути значно знижені, так як на будь-якому етапі формозміни може бути проведена РТО та підготування поверхні. Це дозволяє штампувати на пресах більш складні за формою деталі, а також деталі із сплавів з підвищеними експлуатаційними властивостями. Основні напрямки підвищення технологічної деформуємості при штампуванні на пресах: відпрацювання режимів попередньої РТО і підготування поверхні та раціональний вибір їх місця в технологічному циклі; вирівнюванні сумарних деформацій, регулювання кінематики течії та напружено-деформованого стану металу.

При виготовленні заготовок та готових деталей ХОШ на пресах застосовують однопозиційне та багатопозиційне штампування.

При однопозиційному штампуванні на пресах, порівняно з багатопозиційним, менші вимоги до технологічної деформуємості заготовок, так як між операціями може проводитись розміщувальна термічна обробка, поновлення підзмащувального та змащувального шару. Вибір технології підготування поверхні та складу технологічного мастила не залежить практично від конструктивних особливостей штампа і тим більше від конструктивних особливостей преси. Штампування на пресах дозволяє оформляти конструктивні елементи заготовок, що штампуються видавлюванням різного виду, в тому числі поперечним, радіальним та суміщеним, встановлювати спеціальні пристрої для регулювання напруженого стану у вогнищі деформації та кінематики течії металу. Рішення цих задач при використанні одно- та багатопозиційних прес-автоматів, як правило, утруднено та оправдовують себе тільки в машинах спеціального призначення. Однопозиційне штампування на пресах широко застосовується. При складній формі деталей скорочення числа операцій досягається застосуванням комбінованих процесів (суміщене видавлювання, пряме видавлювання + висаджування тощо). При зниженій деформує мості заготовок, недостатньої пластичності та сильному зміцненні матеріалу процес формозміни перерізу розбивається на декілька переходів з проміжними відпалами. Для однопозиційного штампування застосовують механічні (кривошипні та кривошипно-колінні), гідравлічні та спеціалізовані преси. Найбільш універсальні є гідравлічні преси. Його перевага: незалежність допустимого зусилля від положення повзуна (пуансона). Це дозволяє застосовувати гідравлічні преси як вертикальні, так і горизонтальні для видавлювання подовжених деталей, в тому числі ступінчастих валів довжиною до 1 м, масою до 10 кг і більше.

Багатопозиційне ХОШ на пресах сполучає універсальність, маневреність та високі показники механізації, автоматизації та високу продуктивність.

Штампування на автоматах також може бути однопозиційна та багато позиційна. Однопозиційні автомати мають позицію відрізування та одну штампувальну позицію. Їх застосовують для отримання простих за формою заготовок і деталей (як правило, висаджуванням), а також для отримання каліброваних або каліброваних і фасонованих заготовок для подальшого штампування на пресах.

Багатопозиційні автомати мають позицію відрізування та декілька штампувальних позицій (звичайно від трьох до п'яти) та служать для виготовлення відносно складних за формою деталей з максимальним розміром поперечного перерізу до 35...40 мм. Особливості штампування на автоматах:

- автоматизація процесу забезпечує підвищення продуктивності, порівняно з обробкою різанням на автоматах, до 10...15 разів, а в окремих випадках (гайки) до 80...100 разів;

- можливість дозування об'єму заготовки внаслідок налагодження упору відрізного пристрою;

- можливість та простота налагодження автомата пристроєм для проведення додаткових операцій та обробки різанням (накатування різьби, відрізування торців, обкатування тощо), здійснювати складальні операції (встановлення пружин, запресовування пластмасових втулок тощо);

- доцільне не скорочувати число операцій формозміни, як при штампуванні на пресах, а розбивати процес формозміни за перерізом та послідовно за довжиною, щоб покращати умови роботи інструмента. Форма заготовки після кожної операції повинна забезпечити надійність захвату механізмом переносу та подачі на подальшу позицію.

При проектуванні технологічного процесу необхідно використовувати результати дослідження, передовий виробничий досвід, керівні технічні матеріали та методичні рекомендації проектних і науково-дослідних організацій.

Визначення силових і енергетичних параметрів процесу ХОШ. Експериментальний метод – найбільш точний і надійний. Він заснований на використанні сучасної тензометричної апаратури.

При силових розрахунках користуються діаграмою $P - l_p$, що відповідає певному пресу. При виборі преса необхідно, щоб графік зміни технологічного зусилля лежав нижче силового графіку преса (рис. 7.2).

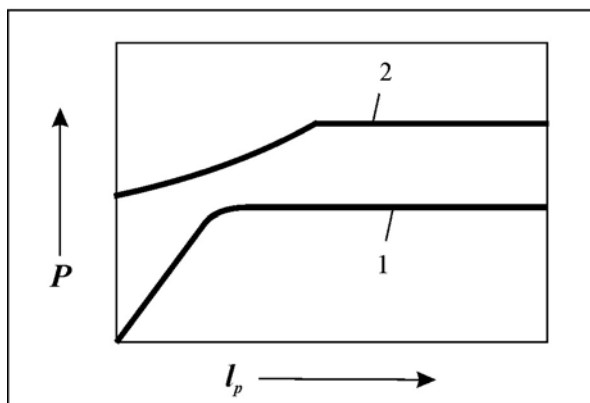


Рис. 7.2. Якісні залежності технологічного зусилля (1) та номінального зусилля преса (2) від ходу повзуна

Крім того, необхідно перевірити енергетичну відповідність технології та обладнання. Для цього необхідно визначити роботу деформації

$$A_0 = \int_{l=0}^{l_p} P dl ,$$

тобто площу під графіком $P - l$.

На підставі графіка $P - l$ знаходять максимальне за час деформації середнє зусилля p_{cp} – головну технологічну характеристику процесу, що визначає стійкість інструменту

$$p_{cp} = \frac{P}{F_0} .$$

Якщо експериментальні криві залежності $P - l$ відсутні, то визначення силових та енергетичних характеристик проводять розрахунковим шляхом. Розрахунок ведуть за допомогою номограм та залежностей середніх питомих зусиль від умов штампування, експериментальних співвідношень, а також рівнянь, які виведені методами теоретичного аналізу.

Проектування типових технологічних процесів ХОШ. Порожні деталі з дном отримують звичайно зворотнім видавлюванням (див. рис. 6.18), а також прямим видавлюванням (див. рис. 6.17). Найменшу технологічну деформуємість заготовка має при плоскій робочій частині пуансона (рис. 6.3, а), так як потребується підвищене питоме зусилля та можливе утворення тріщини. Найбільш доцільна, з точки зору кінематики течії металу, сферична форма пуансона: найменша висота вогнища деформації, найменша нерівномірність деформації. Однак, пуансоні з робочою частиною у вигляді сфери та конуса (рис. 6.3, б, г, д) при видавлюванні з високими деформаціями ($e \geq 0,5$) та великою відносною довжиною порожнини ($h/d > 0,2$) створюють умови для інтенсивного ковзання металу, що приводить до швидкого потоншення проміжного шару мастильного матеріалу та підмастильного покриття. Ці профілі є чутливими до не стаціонарності процесу, анізотропії заготовки, створюють підвищений тиск на стінки матриць. Робоча частина пуансона має тенденцію до радіального зміщення, що підвищує попер зі зусилля на пуансон при видавлюванні, зусилля, що розтягує при зворотному ході, підвищує різностінність виробів. Сферичні пуанسونи слід застосовувати лише при видавлюванні заготовок із сплавів зі зниженою пластичністю та зі зниженою адгезією до інструменту (бронзи) та ті, що мають невеликі порожнини.

Профіль робочої частини пуансона у вигляді усіченого конусу з малою конусністю (рис. 6.3, в) поступається сферичному за кінематикою течії металу, але в найменшій мірі руйнує проміжний шар, сприяє стаціонарності процесу, забезпечує найменшу різностінність виробу, технологічний у виготовленні. Такий профіль рекомендується для видавлювання виробів із сталі та інших сплавів з високими показниками пластичності, опору деформації та адгезії до

інструменту. Якщо за умовами експлуатації потребується форма дна виробу, що не відповідає оптимальним умовам штампуванню, то попередньо здійснюють штампування в оптимальному режимі, а далі відповідно кресленню.

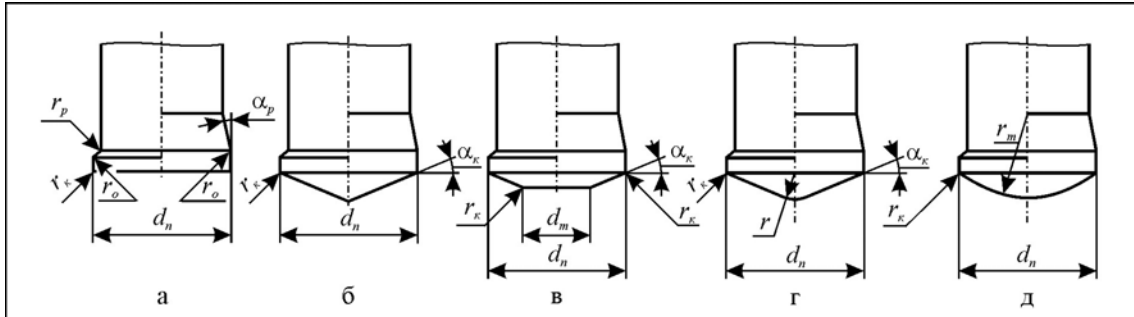


Рис. 7.3. Конструктивне виконання робочої частини пуансона для видавлювання порожнини: а – площина; б – конус; в – усічений конус; г – конус, що переходить у сферу; д - сфера

При виготовленні болтів багатогранну головку отримують за трьома основними схемами:
 - відкрите висаджування круглого фланця з подальшим обрізуванням граней;
 - утворенням багатогранної головки, яке суміщається з утворенням порожнини;
 - набір металу в усічений конус та утворення багатогранної головки.

Другу та третю схеми іноді поєднують.

Завжди ділянку стрижня болта для подальшого накатування різьби отримують редагуванням. При масовому виробництві накатування різьби здійснюють на накатному пристрої, що входить до складу автомату. Фаску отримують при штампуванні чи за допомогою різцевих головок, що обертаються. Приклади типових технологічних процесів штампування болтів на автоматах приведені на рис. 7.4 та 7.5.

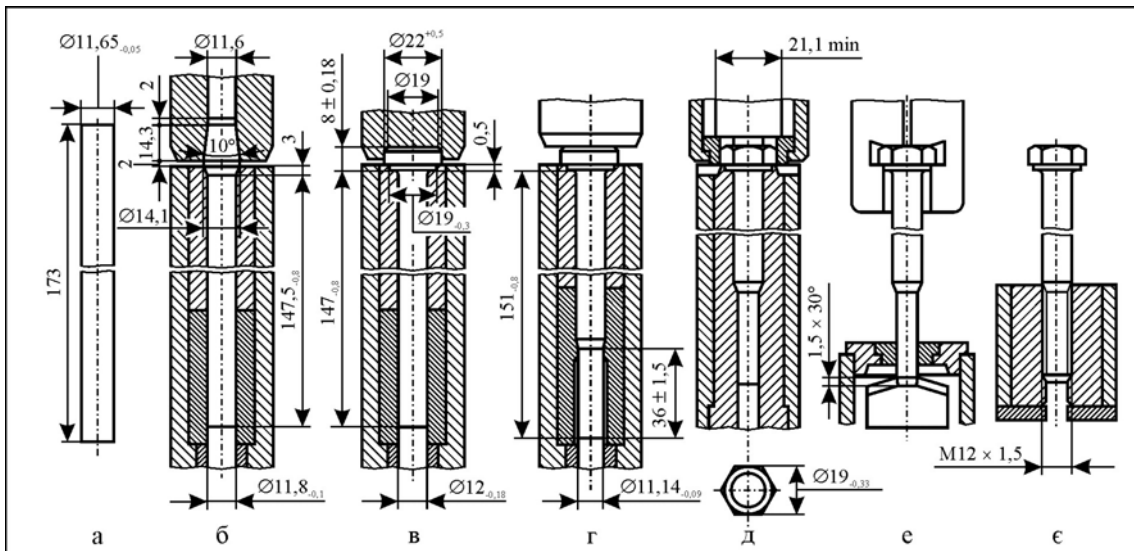


Рис. 7.4. Переходи та налагодження робочого інструмента з обрізуванням граней при штампуванні болта на чотирьохпозиційному автоматі: а – вихідна заготовка; б – перша позиція: набір металу в головку висаджування; в – друга позиція: висаджування головки; г – третя позиція: редакування стрижня під накатування різьби; д – четверта позиція: утворення граней обрізуванням; е – знімання фаски з підрізуванням торця; є – накатування різьби (див. табл. 7.1)

Переходи при штампуванні на багатопозиційних автоматах стандартної гайки показано на рис. 2.6, накидної гайки – на рис. 2.7, технологічні параметри штампування накидної гайки – в табл. 2.1. Особливістю процесу штампування накидної гайки є кантування заготовки на 180° при перенесенні з другої на третю позицію.

Таблиця 7.1

**Формозмінні операції при штампуванні типових деталей
та їх характеристика**

Найменування та матеріал деталі	№ поз.	Найменування операції	p , МПа	P , МН	ε
Болт М12×1,25×150; сталь 30 (див. рис. 7.4)	1	Перше висаджування головки	1110	0,17	0,42
	2	Друге висаджування головки	1270	0,48	1,30
	3	Редакування	70	0,02	0,14
	4	Обрізування граней	-	0,12	-
Болт М12×1,75×45; сталь 45 (див. рис. 7.5)	1	Видавлювання фаски	1040	0,14	0,64
	2	Пряме видавлювання	910	0,12	0,43
	3	Висаджування головки з усіченим конусом	1020	0,22	0,46
	4	Видавлювання шестикутника з порожниною	1200	0,30	0,62
Гайка накидна М20×1,5; сталь 10 (див. рис. 7.7)	1	Напівзакрите осаджування	470	0,33	0,35
	2	Висаджування шестикутника, пряме видавлювання	1380	0,84	0,74
	3	Зворотнє видавлювання	1950	0,52	0,62
	4	Калібрування	-	0,90	-
	5	Пробивання	-	-	-

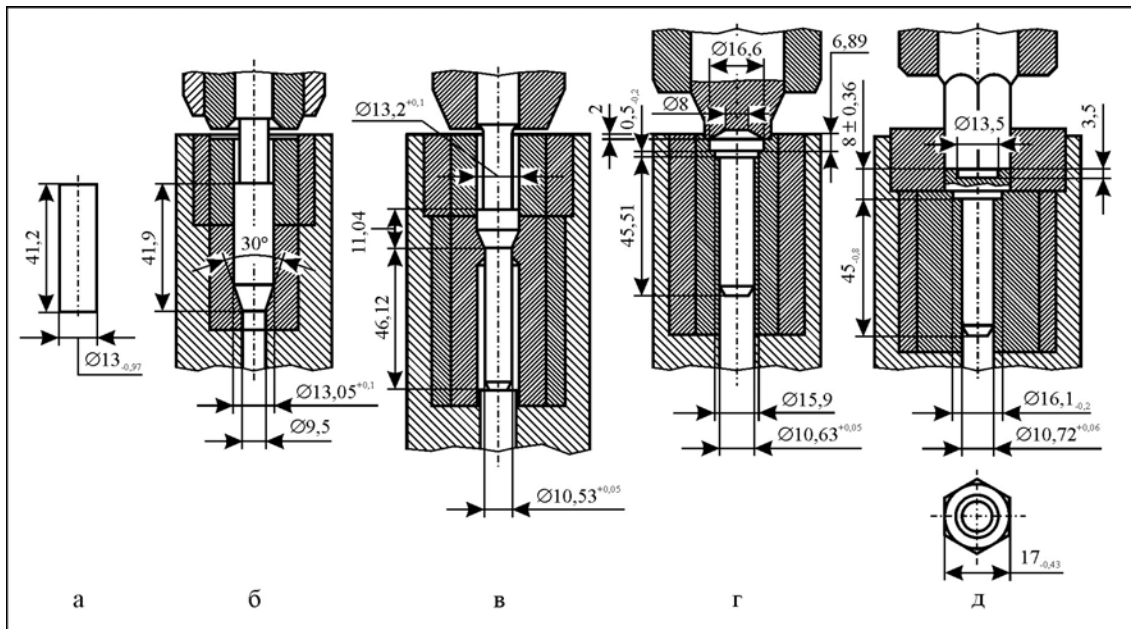


Рис. 7.5. Переходи та налагодження робочого інструмента з видавлюванням шестигранника при штампуванні болта на чотирьох позиційному автоматі: а – вихідна заготовка; б – перша позиція: пряме видавлювання фаски; в – друга позиція: редакування стрижня під накатування різби; г – третя позиція: набір металу в усічений конус; д – четверта позиція: утворення шестигранника напівзакритим прошиванням

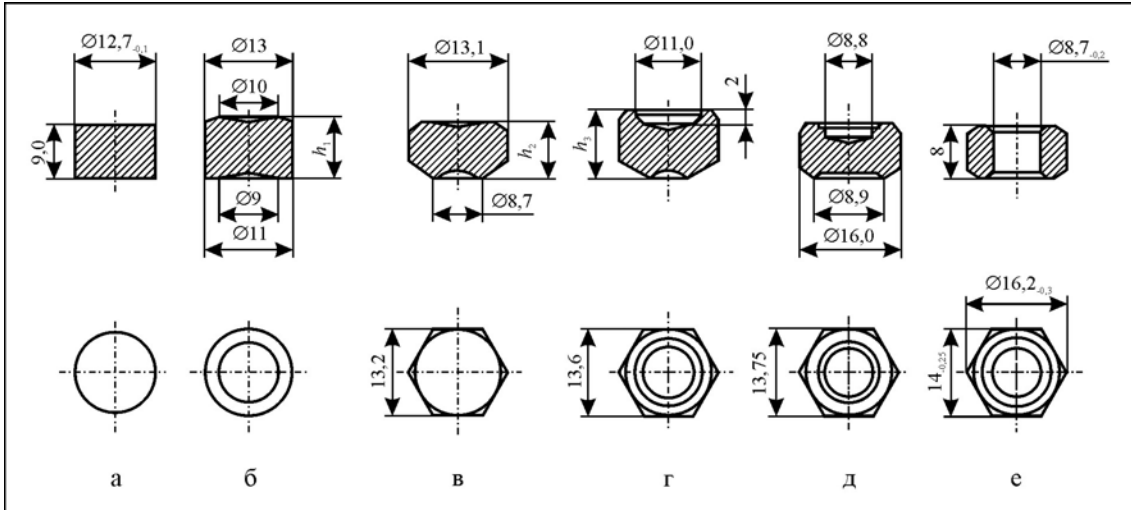


Рис. 7.6. Переходи при штампуванні гайки: а – вихідна заготовка; б – перша позиція; в – друга позиція; г – третя позиція; д – четверта позиція; е – п'ята позиція

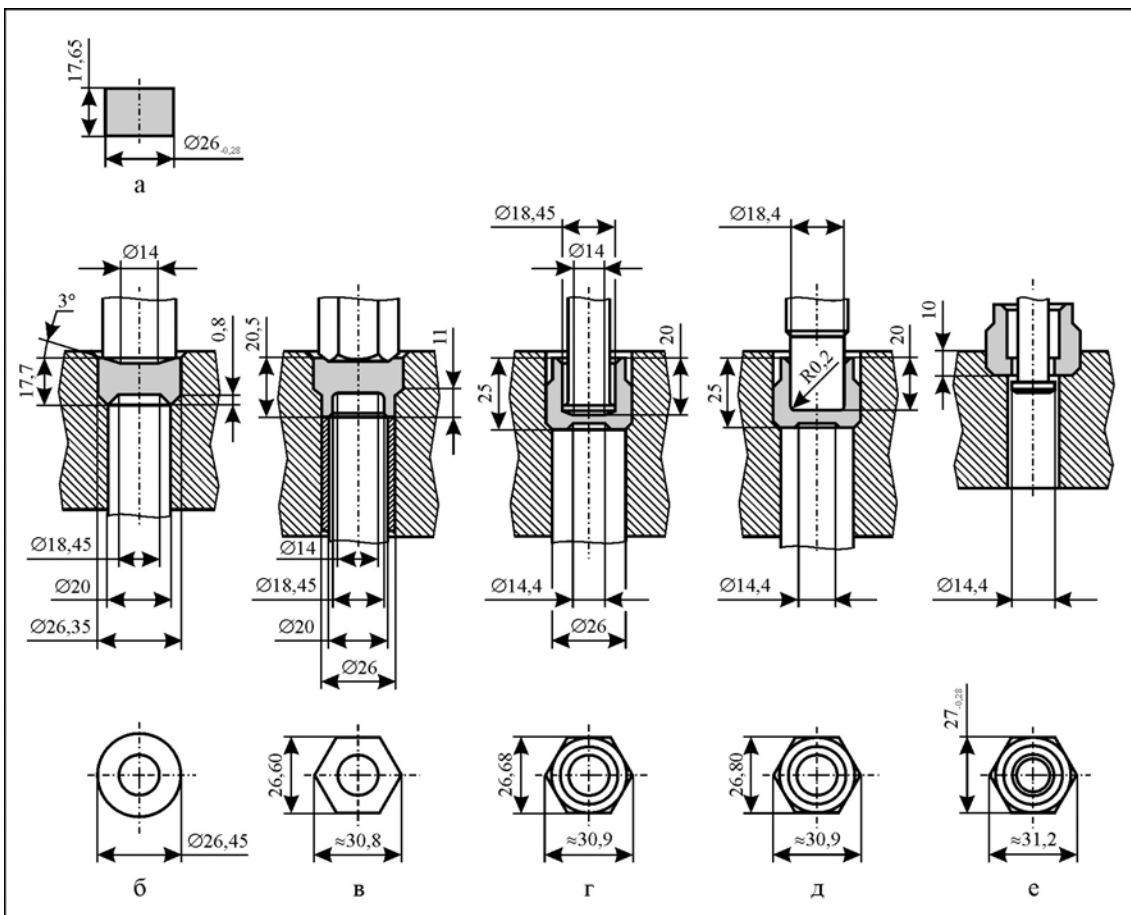


Рис. 7.7. Переходи та налагодження робочого інструмента при штампуванні накладної гайки M20 × 1,5: а – вихідна заготовка; б – перша позиція; в – друга позиція; г – третя позиція; д – четверта позиція; е – п'ята позиція (див. табл. 7.1)

Процеси ХОШ з локальним деформуванням. Усі процеси штампування з локальним деформуванням характеризуються двома основними ознаками:

- деформуючий інструмент в даний момент часу діє на поверхню тиску, що значно менша (в десятки та сотні разів), ніж при звичайних процесах штампування. Відповідно примусово при виборі конструкції інструмента та кінематики його руху відносно заготовки зменшують вогнище деформації;

- вогнище деформації безперервно переміщується, охоплюючи за період деформування заданий об'єм заготовки, що забезпечує отримання виробів необхідної форми та розмірів.

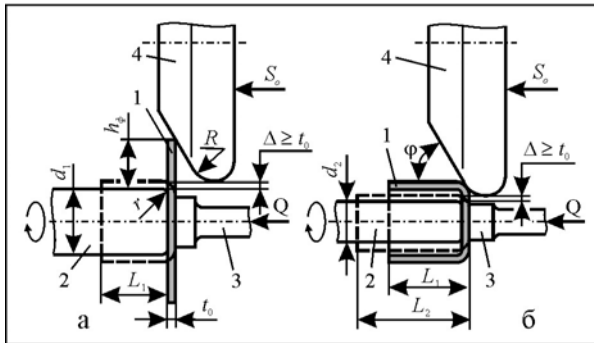
При будь-якому процесі обробки тиском технологічне зусилля $P = p \cdot F_0$. Оскільки площа тиску зменшується, зменшуються і P та p , що значно покращує умови роботи інструменту: підвищується його стійкість, різко знижуються витрати на інструмент.

Зникає потреба в застосуванні потужного пресового обладнання. Суттєво зменшуються терміни та витрати на підготовку виробництва.

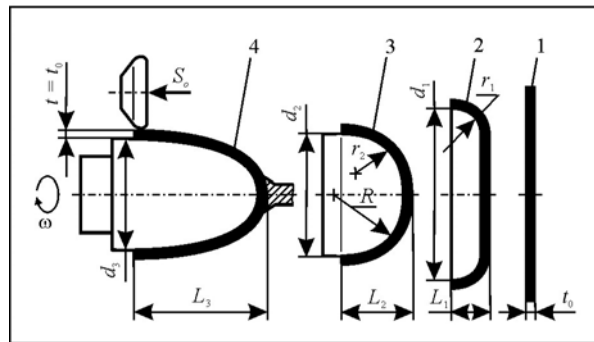
До числа найбільш перспективних процесів холодної деформації з локальним деформуванням відносяться:

- ротаційне витягування;
- торцеве розкочування;
- сферорухійне штампування.

До процесів з локальним деформуванням відносяться також накатування різьб та профілів, шліців та інших поздовжніх канавок.



перехідного витягування циліндричних деталей, де



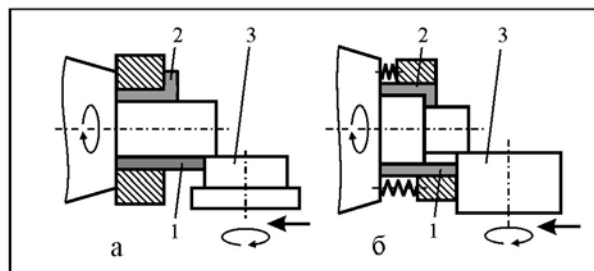
Ротаційне витягування – процес послідовної зміни форми та розмірів плоских або порожніх заготовок, що обертаються, прикладанням локалізованого деформуючого зусилля. Зусилля передається за допомогою робочого інструмента.

Рис. 7.8. Схеми одноперехідного ротаційного витягування циліндричних деталей: а – перша операція; б – друга операція

На рис. 7.8 показані схеми одноперехідного витягування циліндричних деталей, де 1 – вивідна заготовка; 2 – оправка; 3 – притискач заготовки до оправки; 4 – ролик.

Одноперехідним витягуванням без потоншення стінок можуть бути отримані циліндричні деталі з фланцем, ступінчастою, конічною та куполоподібною (рис. 7.9) форми.

Рис. 7.9. Схема одноопераційного ротаційного витягування куполоподібної деталі за три переходи: 1 – заготовка; 2 – I перехід; 3 – II перехід; 4 – III перехід



Розкочування торців з отриманням зовнішнього та внутрішнього бурта (рис. 7.10).

Рис. 7.10. Схеми розкочування в торці з отриманням зовнішнього (а) та внутрішнього (б) бурта: 1 – заготовка; 2 – деталь; 3 – ролик

Вихідну заготовку відрізають від труби, обточують для вилучення поверхневих дефектів, розточують на заданий розмір та піддають холодному розкочуванню. При цьому: не потребується потужного штампувального обладнання; зменшується витрати металу на 20...30 %; зменшується витраті інструменту в 1,5...2 рази; спрощується конструкція інструмента.

Сферорушійне штампування. Обладнання для сферорушійного штампування передбачає, що заготовки, у відміну від ротаційного витягування, не обертаються, а інструмент (пуансон або матриця) здійснює гойдальний рух, як показано на рис. 7.11, а.

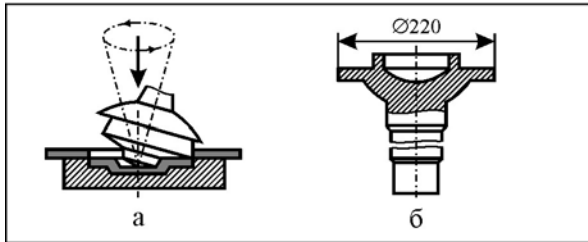


Рис. 7.11. Схема сферорушійного штампування низької деталі великого діаметру (а) та приклад обробленої даним способом довгої деталі (б)

Така технологія зручна для ряду класів деталей:

- для отримання низьких деталей відносно великого діаметру (до $h/d = 0,05$), коли використання звичайної технології калібрування приводить до значних зусиль P (до 25...40 МН) та питомих зусиль p (до 2500...3000 МПа). Витрати на інструмент скорочуються в 2 рази;
- для отримання довгих деталей типу вал-шестерня зі складним профілем порожнини головки (рис. 7.11, б)
- для видавлювання порожніх деталей із сплавів з підвищеним опором деформуванню (рис. 7.12). Кут гойдання Θ складає біля $2^\circ 30'$.

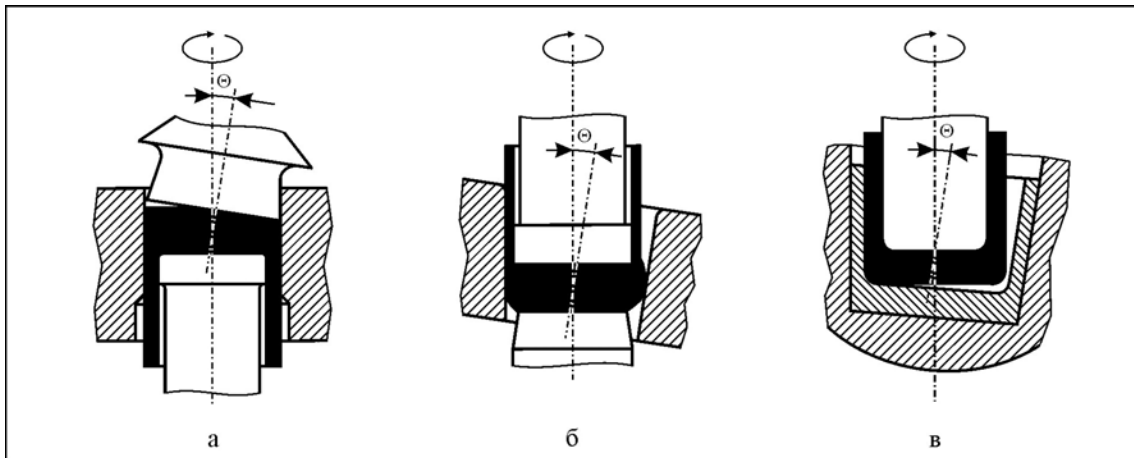


Рис. 7.12. Схема видавлювання порожнистих заготовок інструментом, що гойдається: а – пряме видавлювання в матриці з дном, що гойдається (пуансоном); б – зворотне видавлювання в матриці, що гойдається, з нерухомим дном (контрпуансоном); в – зворотне видавлювання в глухій матриці, що гойдається

Комбіноване видавлювання високих ковпачків. В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних високих ковпачків (порожнистих деталей із дном) використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним з них є спосіб багатоопераційного витягування із листової заготовки. Однак, даний спосіб багатокosztовний, бо потребує для реалізації використання великої кількості штамів, яка дорівнює кількості операцій штампування. Висота ковпачка, отриманого даним способом, як правило, не перевершує трьох діаметрів. Таку ж відносну висоту ковпачка ($H/d = 3$) дозволяє отримати спосіб зворотного видавлювання, що здійснюється в одному штампі. Тому даний спосіб більш прогресивний: економічно доцільний та більш продуктивний. Однак, при спробі реалізації процесу зворотного видавлювання при відносній висоті ковпачка $H/d > 3$, спостерігається руйнування відносно тонкого пуансону, який із підвищенням висоти втрачає усталеність. Саме тому, відносну висоту ковпачка $H/d = 3$ можна

вважати фізичною межею даного способу. Якщо поєднати спосіб зворотного витягування з подальшим багатоопераційним витягуванням з потоншенням стінки заготовки, то можна отримати високий ковпачок, відносною висотою до $H/d = 5$, а іноді і більше, але з кожною додатковою операцією собівартість виготовлення зростає. В той же час в машинобудуванні є потреба у високих ковпачках, відносною висотою $H/d \gg 5$.

За конструктивним виконанням високий ковпачок включає в себе циліндричний порожнистий стрижень 1 (трубу) та плоске кругле дно 2 з перехідною радіусною частиною 3 (рис. 7.13).

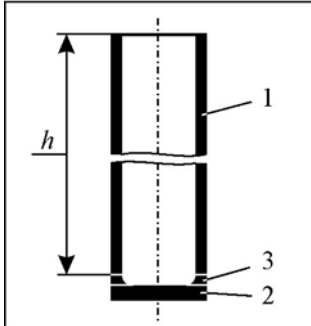


Рис. 7.13. Структура високого ковпачка

Довжина труби h практично визначає висоту ковпачка. Тому, для формоутворення високого ковпачка треба скористатися способом виготовлення довгих труб. Сьогодні труби довжиною декілька десятків метрів ефективно отримують способом прямого видавлювання на гідравлічних пресах.

Для формоутворення плоского дна та перехідної радіусної частини доцільно використати спосіб зворотного видавлювання.

Технологічна схема формоутворення високого ковпачка, що пропонується, об'єднує в собі переваги зворотного та прямого видавлювання: заготовка для прямого видавлювання ковпачка попередньо формується з утворенням донної поверхні способом зворотного витягування. Процес формоутворення високого ковпачка пояснюється таблицею 7.2.

Таблиця 7.2

Морфологія формоутворення високого ковпачка

Етапи процесу	Початок етапу	Кінець етапу
Перший	1.1 	1.2
Другий	2.1 	2.2
Третій	3.1 	3.2

Для реалізації процесу формоутворення високого ковпачка використовується закрита матриця 1 (табл. 7.2, схема 1.1) та гаряча (для сталей) або холодна (для м'яких металів) вихідна заготовка 2. Об'єм вихідної заготовки 2 V_1 перевищує об'єм готового ковпачка на величину технологічного залишку (відходу). Матрицю 1 встановлюють на дві однакові за висотою підставки 3.

На першому етапі (табл. 7.2, схема 1.2) першим пуансоном 4 прошивають глухий отвір 5 із залишенням заданої товщини s дна 6 ковпачка, що досягається точним розрахунком висоти консольної частини h_1 пуансона 4 та прошиванням до упору. При розрахунках слід дотримуватися умови $V_1 = V_2$, де V_2 – об'єм заготовки після першого етапу.

На другому етапі (табл. 7.2, схеми 2.1, 2.2) другим пуансоном 7 з центральним отвором 8, який з'єднано з атмосферою, видавлюють циліндричну частину ковпачка 9 на висоту h_2 . При цьому висота ковпачка не залежить від осьового зусилля видавлювання і тому може суттєво зрости практично не обмежено. В процесі видавлювання порожнина 10 безперервно подовжується, а об'єм її збільшується. Наявність отвору 8 не дозволяє утворенню в порожнині 10 розрядженого повітря. Це позитивно впливає на зусилля виймання пуансона 7 з матриці 1.

На третьому етапі (табл. 7.2, схеми 3.1, 3.2) третім ступінчастим пуансоном 11 з центральним отвором 12, який з'єднано з атмосферою, відокремлюють ковпачок 13 від залишку металу 14. Наявність отвору 12 також не дозволяє утворенню в порожнині 15 розрядженого повітря. Це позитивно впливає на зусилля виймання пуансона 11 з матриці 1.

Дана технологічна схема формоутворення лягла в основу патенту на вискоєфективний спосіб видавлювання високих ковпачків [13]. Для реалізації даного способу автором розроблено та виготовлено експериментальний пристрій та отримано на ньому високі ковпачки з співвідношенням $H/d = 14$ (рис. 7.14), що у 2,8 рази більше, порівняно з багатоопераційним витягуванням з потоншенням стінки заготовки.

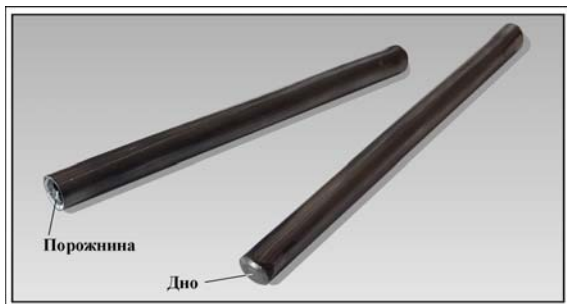


Рис. 7.14. Високі ковпачки ($d_k = 10$ мм; $h_k = 140$ мм; $s = 1$ мм), що отримано прямим видавлюванням з використанням заготовки з попередньо відформованим дном

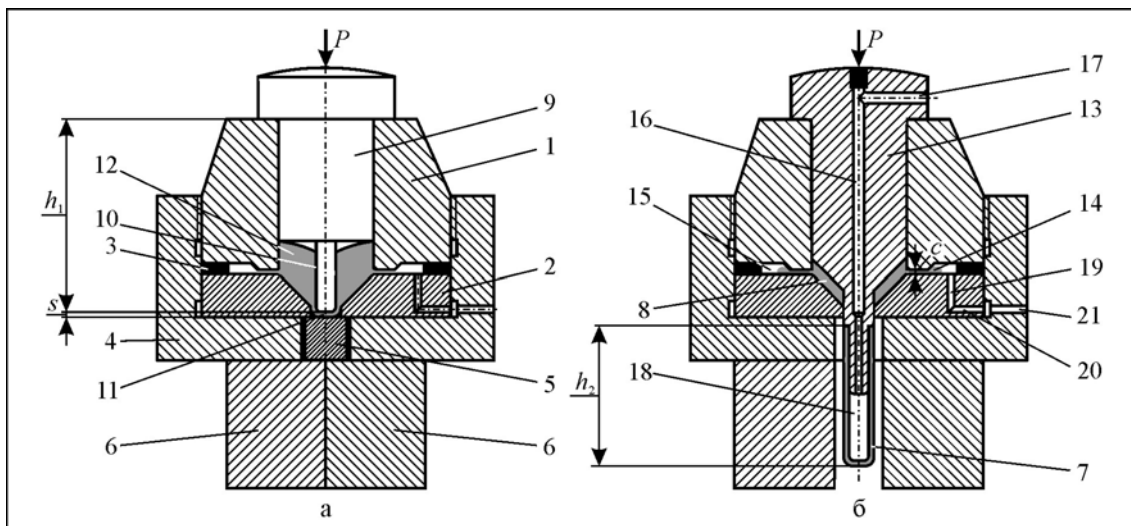


Рис. 7.15. Спосіб видавлювання високих ковпачків за два етапа: а – кінець першого етапу (формування дна з перехідною радіусною частиною); б – кінець другого етапу (формування порожнистого стрижня, відокремлення ковпачка від залишку металу); 1 – циліндрична частина матриці; 2 – конічна частина матриці; 3 – розпірне кільце; 4 – накидна гайка; 5 – вставка; 6 – підставка; 7 – готовий ковпачок; 8 – технологічний залишок; 9 – перший пуансон; 10 – глухий отвір; 11 – дно; 12 – проміжна заготовка; 13 – другий пуансон; 14 – залишковий матеріал; 15 – облойна канавка; 16, 17, 19, 20 – отвори, що з'єднані з атмосферою; 18 – порожнина

Подальше удосконалення даного способу видавлювання високих ковпачків пов'язано із скороченням числа етапів штампування. У запропонованому автором новому способі видавлювання високих ковпачків процес здійснюють в два етапи: на першому етапі, також як у попередньому способі, першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка (рис. 7.15, а), а на другому етапі другим пуансоном спочатку видавлюють циліндричну частину ковпачка, далі ковпачок відокремлюють від залишку металу ступінчастою частиною другого пуансона і видавлюють зайвий залишковий матеріал із робочої зони в концентрично розташовану облоїну канавку (рис. 7.15, б). Це дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість виготовлення високих ковпачків за рахунок зменшення кількості етапів штампування з трьох до двох.

7.3. Конструювання та розрахунок штампів

Пуансони, матриці оправки та пуансони-виштовхувачі відповідно призначенню сприймають навантаження, що викликають в них певний характер напруженого стану, а тому мають небезпечні зони, переходи, перерізи. Тому розглядають окремо кожну робочу деталь з виділенням особливостей конструкції а залежності від умов експлуатації.

Пуансони та оправки. За конструктивним виконанням пуансони поділяють на наступні види:

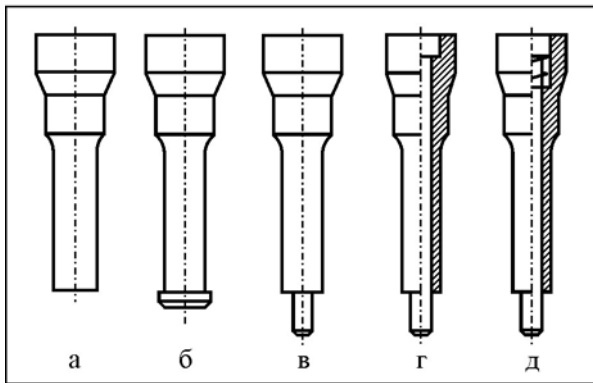
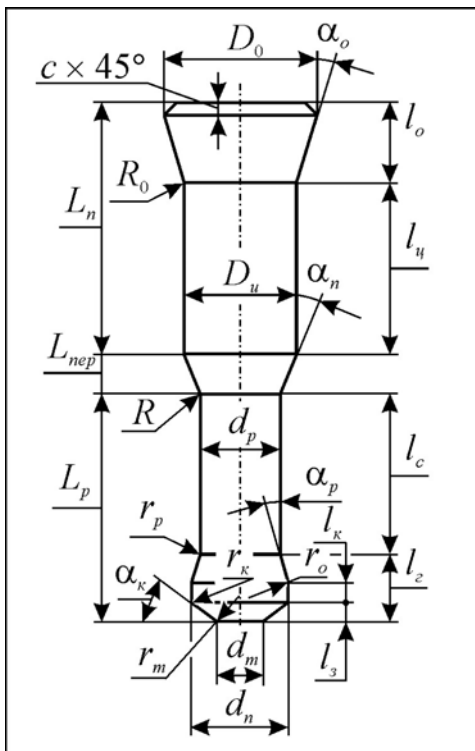


Рис. 7.16. Конструктивне виконання (види) пуансонів

- суцільні з гладкою робочою поверхнею (рис. 7.16, а);
- з робочим пояском (рис. 7.16, б);
- ступінчасті, що виконані разом з оправкою (рис. 7.16, в);
- порожні з нерухою оправкою (рис. 7.16, г);
- порожні з рухою оправкою (рис. 7.16, д).



За функціональним призначенням в пуансоні виділяють (рис. 7.17):

- робочу частину L_p ;
- перехідну частину L_{nep} ;
- посадочну частину L_n ;
- голівку l_z , яка безпосередньо сприймає технологічне зусилля;
- частину, що центрує l_u ;
- опорну частину l_o .

Рис. 7.17. Структурна схема пуансона для видавлювання

Пуансони руйнуються в зонах концентрації напружень, та там, де знос робочої частини перевищує допустиме значення. Якщо конусна та перехідна частина пуансона виконується під кутом $\alpha_n = 30^\circ$, то концентрація напружень незначна. При збільшенні відношення D_u/d_p коефіцієнт концентрації напружень збільшується. При зменшенні розміру посадочної частини D_u до $(1,01 \dots 1,08) d_p$ можна створити у пуансоні більш рівномірний розподіл напружень. Один із важливих конструктивних факторів, що визначає стійкість пуансонів, є радіус переходу R від посадочної

до робочої частини. При стисненні, а також при стисненні з вигином зменшення R приводить до різкого підвищення коефіцієнта концентрації напружень. Оптимальним вважається, коли $R = (0,3 \dots 0,4) d_p$.

Висока концентрація напружень має місце у нижній робочій частині пуансона, в якій розподіл напружень складний та залежить від виду технологічної операції. Загальна вимога до конструкції робочої частини пуансонів – забезпечення плавності переходів від одного діаметра до іншого, відсутність підрізання, ризок і подряпин, тому робочу частину пуансону полірують, що зменшує концентрацію напружень. Пуанسونи для попереднього калібрування заготовок (рис. 7.18, а) мають конфігурацію торцевої поверхні, що відповідає потрібної форми торця заготовок. При калібруванні заготовок з плоским торцем стійкість пуансона невелика. Заміна плоского торця конусною поверхнею з кутом $\alpha = 1 \dots 2^\circ$ збільшує стійкість в декілька разів. Виступи на торцевій поверхні пуансона необхідні частіше всього для утворення поглиблень на заготовці, які служать для центрування пуансонів подальших переходів. Стійкість пуансонів для калібрування дуже залежить від схеми калібрування, жорсткості пресу, якості та точності об'єму заготовки, відношення довжини відкаліброваної частини до довжини заготовки після калібрування.

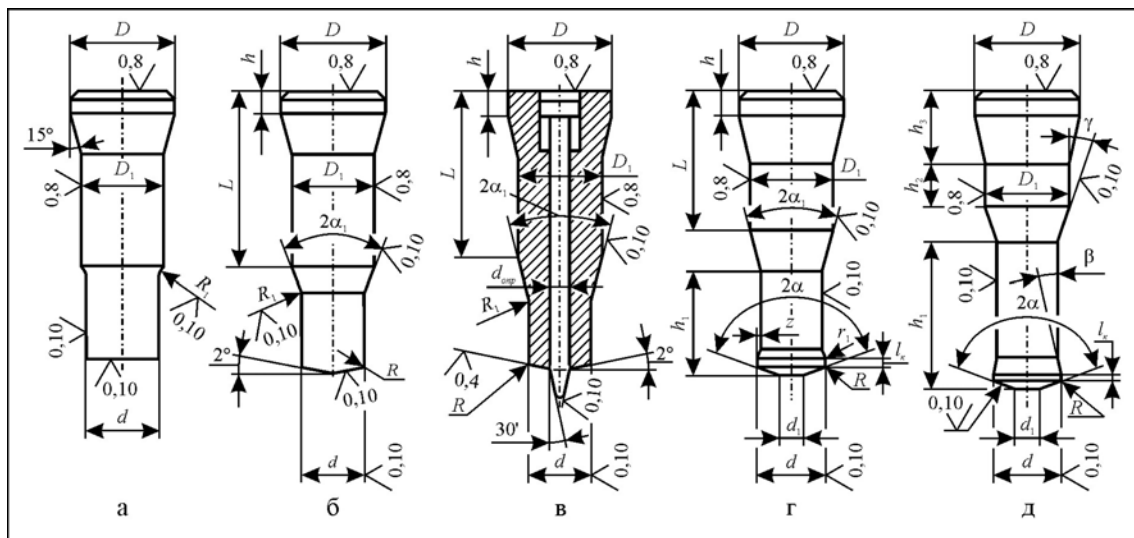


Рис. 7.18. Типові конструкції пуансонів

Пуанسونи для прямого видавлювання можна поділити на пуанسونи без оправок (рис. 7.18, б) та з оправками (рис. 7.18, в) для отримання суцільних та порожнистих виробів відповідно. У пуансонів без оправки для збільшення стійкості рекомендується робочий торець виконувати зі скосом під кутом $1 \dots 2^\circ$, що покращує схему деформування. Розмір d приймається по розміру контейнера матриці, щоб забезпечити зазор між ними, що дорівнює $0,2 \dots 0,5$ мм, для компенсації пружних деформацій стиснення пуансона. Оправки призначені для обмеження радіальної течії металу та отримання порожнини заданих поперечних розмірів.

Застосування суцільних пуансонів з оправкою недоцільне, так як під час видавлювання оправка під дією вигинальних та розтягальних напружень відривається. Оптимальною конструкцією є складений пуансон з рухомою оправкою (рис. 7.18, в), яка переміщується в пуансоні за посадкою ковзання. Торці пуансона та поверхню оправки шліфують та полірують. Для облегшення знімання оправки з поковки її робочу частину необхідно робити конічною з кутом $30'$.

Для забезпечення поздовжньої усталеності висота робочої частини пуансона L_p не повинні перевищувати $(2 \dots 2,5) d_n$. Для підвищення стійкості головки проти зносу можуть застосовуватися складені пуанسونи. Головку пуансона виготовляють із твердого сплаву ВК20 та з'єднують з тримачем дифузійним зварюванням.

Матриці. Конструкція матриці, геометрія її формуютьуючих частин залежать від виду технологічної операції, виникаючих при штампуванні зусиль, форми та розмірів виробу, що штампується. Матриці для калібрування мають звичайно дві порожнини – верхню робочу, розміри якої визначаються розмірами заготовки, та нижню, в якій встановлюється виштовхувач (рис. 7.19,

а). Для запобігання появи тріщин у місці переходу від робочої порожнини до фаски нижньої порожнини необхідно передбачати плавний перехід. Для підвищення стійкості необхідно, щоб перехід діаметрів робочої порожнини та порожнини для виштовхувача був як можна менше. Для зменшення впливу зносу на зусилля виштовхування робочу порожнину матриці іноді конструюють з невеликою конусністю (до 1°).

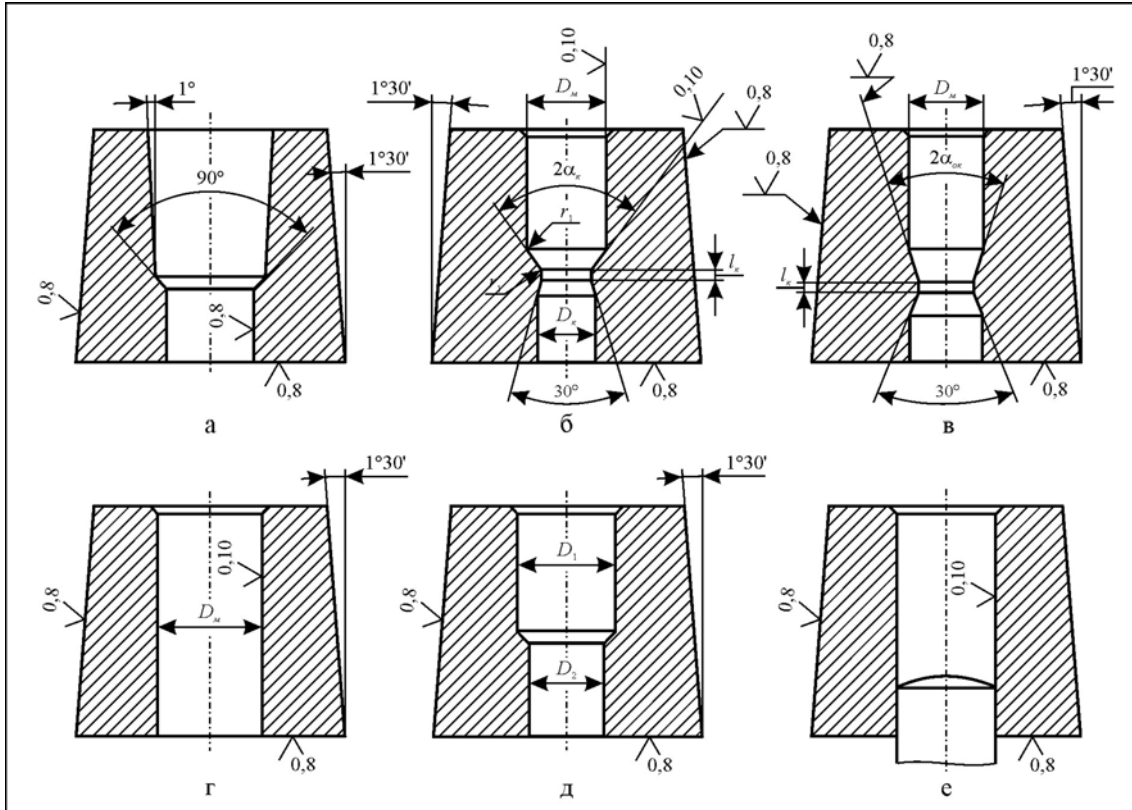


Рис. 7.19. Конструкції матриць для ХОШ: а – для калібрування; б – для прямого видавлювання; в – для редакування; г, д, е – для зворотного видавлювання

Матриця для прямого видавлювання має циліндричну західну порожнину, яка служить для встановлення заготовки, робочу порожнину для надання виробу відповідної форми і нижню порожнину для запобігання вигину видавленої частини заготовки (рис. 7.19, б). Висота західної порожнини визначається потрібною висотою заготовки та попереднього заходу пуансона перед видавлюванням та приймається у межах 5...10 мм. Велика висота західної порожнини приводить до збільшення сил тертя в початковий момент штампування та значному зростанню питомих зусиль на пуансоні. Тому рекомендують, щоб відношення висоти західної частини порожнини до її діаметру не перевищувало 10.

Робоча порожнина складається із перехідної частини від циліндричної західної частини до пояску, що формоутворює, і самого пояску. Геометричні параметри перехідної частини матриці значно впливають на зусилля видавлювання, залежність зусилля від шляху, розподілу деформацій, і швидкостей за перерізом, контактні умови (див. рис. 7.19).

Звичайно застосовують конічну перехідну частину з кутом при вершині суцільних виробів $2\alpha = 60...70^\circ$, що забезпечує технологічність виготовлення матриці та достатньо рівномірний та плавний розподіл навантаження в процесі видавлювання, що необхідний для підвищення терміну служби матриці. При зменшенні кута 2α до 30° виникають великі напруження на бічних стінках матриці, можливе повне знімання мастильного матеріалу з поверхні заготовки. Збільшення кута 2α до $160...180^\circ$ викликає різке зростання питомого зусилля. Для зменшення тертя та питомих навантажень на інструмент виконують радіус переходу r_1 (рис. 7.19, б).

Порожнина матриці для редакування за своєю конфігурацією аналогічна порожнині матриці для прямого видавлювання (рис. 7.19, а). Основна відміна: контейнер для завантаження заготовок значно більш короткий та менше кут конічної перехідної частини ($2\alpha \leq 30^\circ$). При

редагуванні заготовок із вуглецевих сталей контейнер звичайно служить для центрування заготовок. Його довжина не перевищує $(1...1,5)D_m$.

Робочі частини матриць для прямого видавлювання шліфуються та поліруються, усі посадочні і опорні поверхні тільки шліфуються.

Матриці для зворотного видавлювання виконуються з порожниною, що відповідає формі та розмірам виробу (рис. 7.19, г, д, е). В нижню частину порожнини встановлюють виштовхувач, торець якого – дно або частина дна матриці. Якщо на дні штампованої заготовки немає фасок та уступів, матриця має гладку наскрізну порожнину (рис. 7.19, г), якщо є, то матриця має ступінчасту форму (рис. 7.19, д). При видавлюванні стаканя з відносно тонким дном спостерігається викривлення форми дна із-за утягування вгору його країв. Утяжина може бути усунена, якщо робочий торець виштовхувача виконати зі скошеними краями (рис. 7.19, е).

Стінки наскрізної робочої порожнини виконуються строго циліндричними або, для забезпечення виштовхування, з уклоном $\approx 1^\circ$. Уклон залежить від товщини стінки виробу, висоти заготовки та точності, що потребується. Глибина робочої частини порожнини матриці повинна бути більше висоти заготовки не менше ніж на 5 мм.

Напруження, що виникає в матриці при штампуванні, можна значно зменшити, міцність матриць підвищити шляхом напрусування на них бандажів з певним натягом. В наслідок матриці надаються напруження, що стискають, які протилежні напруженням, що розтягають при штампуванні. За числом бандажів матриці діляться на одно- та багатобандажні (рис. 7.20, а).

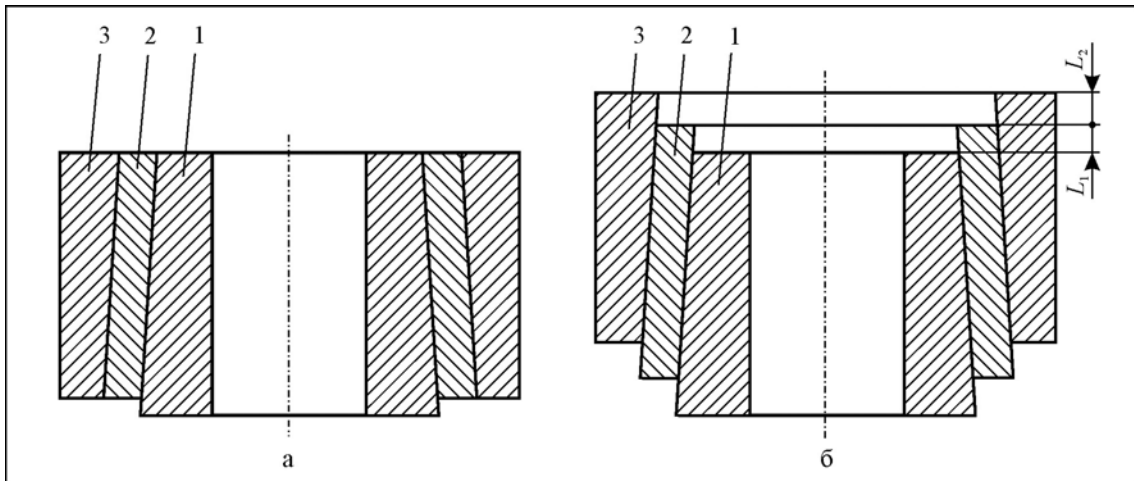
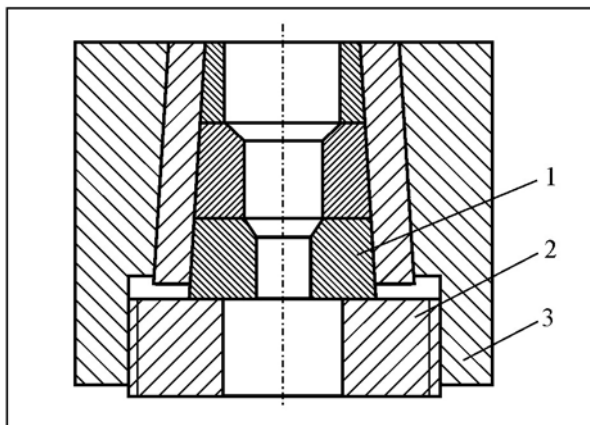


Рис. 7.20. Двобандажна матриця: а – після запресування бандажів; б – до запресування бандажів; L_1, L_2 – недоходи на пресування

Розрізняють циліндричні та конічні бандажі. Запресування можна проводити у підігрітому ($\approx 400^\circ\text{C}$; циліндричні бандажі) і холодному стані (конічні бандажі).

Основні правила бандажування:

- твердість обойм багатопарової матриці повинна підвищуватися від зовнішнього кільця до внутрішнього; зовнішній бандаж за умов безпеки повинен бути із відпаленої достатньо пластичної сталі;



- для полегшення складання та витримування необхідного натягу рекомендується кут нахилу бічної конічної поверхні бандажа робити менше, ніж у вставки. Різниця кутів звичайно складає $10'$.

Рис. 7.21. Схема фрагменту штампа з осьовим підбором вставки матриці: 1 – вставка матриці; 2 – гайка; 3 – бандаж

Для створення у вставці матриці попередніх напружень, що стискають в осьовому напрямку, використовують складену конструкцію (рис. 7.21). Вставка матриці 1 спирається на гайку 2, що самогальмується, яка різьбою з'єднана з бандажем 3. Сполучення вставки матриці з бандажем здійснюється за посадкою ковзання, кут $\alpha = (1,5 \dots 5^\circ)$. Наявність підпору з боку гайки підвищує жорсткість системи, запобігає ослабленню радіального натягу в процесі експлуатації штампа та перешкоджає затіканню металу по площинам поперечного рознімання вставки.

Типові конструкції штампів. В основу класифікації конструкцій штампів для видавлювання на пресах покладено п'ять головних ознак (табл. 7.3):

- перша ознака визначає загальну схему компоновки штампа;
- друга ознака – достатньо усталену сукупність основних елементів конструкції;
- третя ознака – конструктивні особливості матричного блоку та пуансонотримача;
- четверта ознака - конструктивні особливості механізмів виштовхування деталі із матриці;
- п'ята ознака - конструктивні особливості механізмів знімання деталі з пуансона.

Широке розповсюдження отримали однопозиційні штампи з напрямком пуансона за матрицею (рис. 7.22). Вони прості за конструкцією, володіють високою горизонтальною жорсткістю та технологічні у виготовленні. Розміри інструмента слід вибирати так, щоб до моменту початку видавлювання пуансон входив у матрицю на глибину $l_n = (1,0 \dots 1,4) D_n$. Похибки встановлення компенсуються зазором z .

Таблиця 7.3

Класифікація конструкцій штампів для видавлювання

Найменування класифікаційної ознаки	Характеристика ознаки	
	Код	Виконання
Число та розташування позицій	П100 П200 П210 П211 П212 П220	Одноопераційні Багатоопераційні: - з послідовним розташуванням позицій; • лінійною послідовністю; • з круговою послідовністю; - з паралельним розташуванням позицій
Спосіб направлення пуансона відносно матриці	Н100 Н200 Н210 Н220 Н221 Н222 Н230 Н240 Н241 Н242	Без напрямних елементів З напрямними елементами - за матрицею; - за спеціальним елементом: • за кільцем; • за знімачем; - за плунжером; - за колонками: • в нижній плиті; • в верхній плиті
Спосіб центрування пуансона відносно матриці	Ц10 Ц20 Ц21 Ц22	Без спеціальних пристроїв, що центрують; З пристроями, що центрують: - з регулюванням матриці; - з регулюванням пуансона
Спосіб виштовхування видавленої деталі із матриці	В10 В20 В21 В22 В23	Без механізму, що виштовхує; З механізмом, що виштовхує: - пружинним; - від пресу; - через траверсу
Спосіб знімання видавленої деталі із пуансона	С10 С20 С21 С22 С23	Без знімача; Зі знімачем: - пружинним; - жорстким нерухомим; - жорстким рухомим

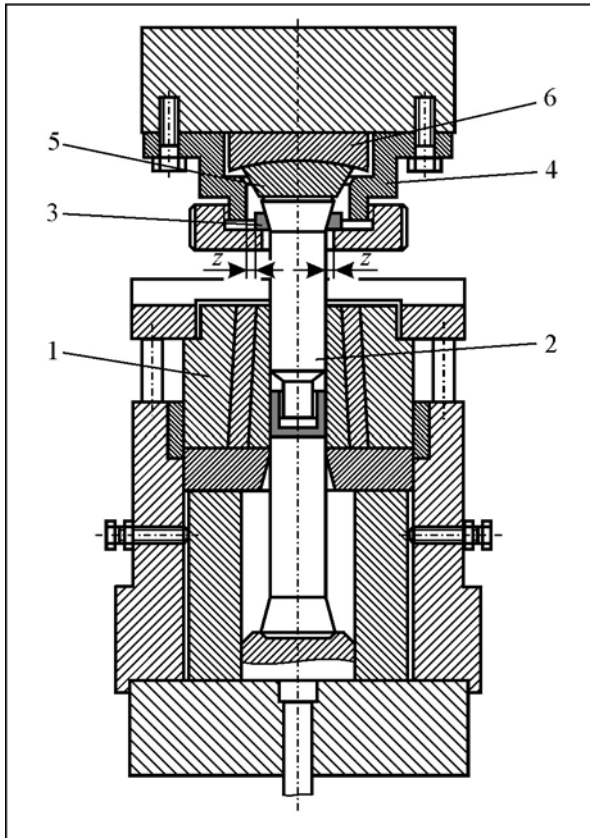


Рис. 7.22. Однопозиційний штамп з направленням пуансона за матрицею: 1 – банда жована матриця; 2 – пуансон; 3 – пуансонотримач; 4 – гайка кріплення пуансонотримача; 5, 6 – сферичні опори

На рис. 7.23 представлена схема штампа для видавлювання з матрицею, що плаває (конструкція МВТУ ім. Н. Е. Баумана). На верхній плиті 1 в обоймі 2 встановлений пуансон 3. В нижній частині штампа в середній плиті 4 розміщена обойма 5 з матрицею 6, що опирається через прокладку 7 на нижню плиту 8. Верхня та нижня частини штампа зв'язані трьома напрямними вузлами. Для зменшення деформуючої сили в процесі видавлювання матриця може вільно переміщатися вгору на 15 мм. Матриця піднімається під дією сил тертя на зовнішній поверхні заготовки, що деформується. Виштовхування деталі здійснюється виштовхувачем 9, який розміщено на траверсі 10. Піднімання траверси преса здійснюється тягами 11, що встановлено всередині двох напрямних колонок 12. Для знімання деталі з пуансона передбачено консольний знімач 13.

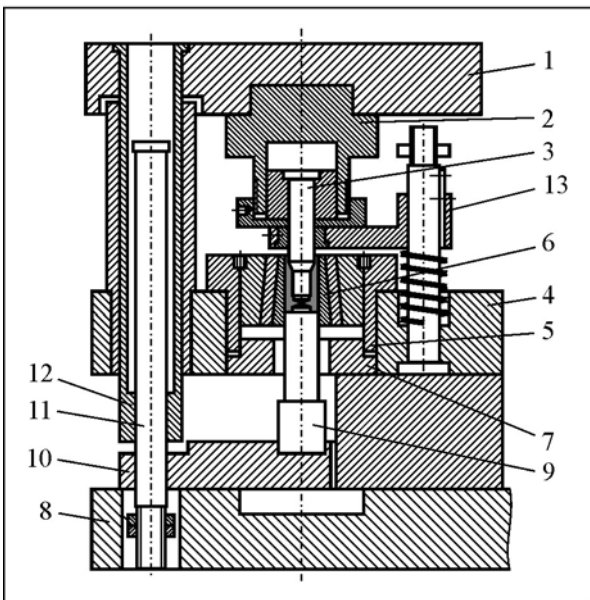


Рис. 7.23. Схема штампа для видавлювання з матрицею, що плаває

Розділ 8 МАШИНИ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ

8.1. Механічні вертикальні преси

Класифікація машин для ХОШ. Відмінною особливістю машин для ХОШ – праця при високих питомих навантаженнях (2500...3200 МПа), забезпечення високої точності виробів. Тому це обладнання повинно мати високу жорсткість станини та проміжних ланцюгів, підвищений робочий хід та подовжені напрямні повзуна з мінімальними зазорами (0,05 мм) тощо. Крім того, воно повинно бути високо-продуктивним та безпечним в роботі. Сучасні машини оснащуються механізмами завантаження заготовок та вилучення відходів та виробів, системами виштовхування як із матриці, так і з пуансона, різними системами запобігання від перевантаження та механізмами для подавання технологічного мастильного матеріалу.

Усе обладнання для ХОШ можна поділити на преси та автомати (рис. 3.1). Преси, в свою чергу, поділяють на механічні та гідравлічні.

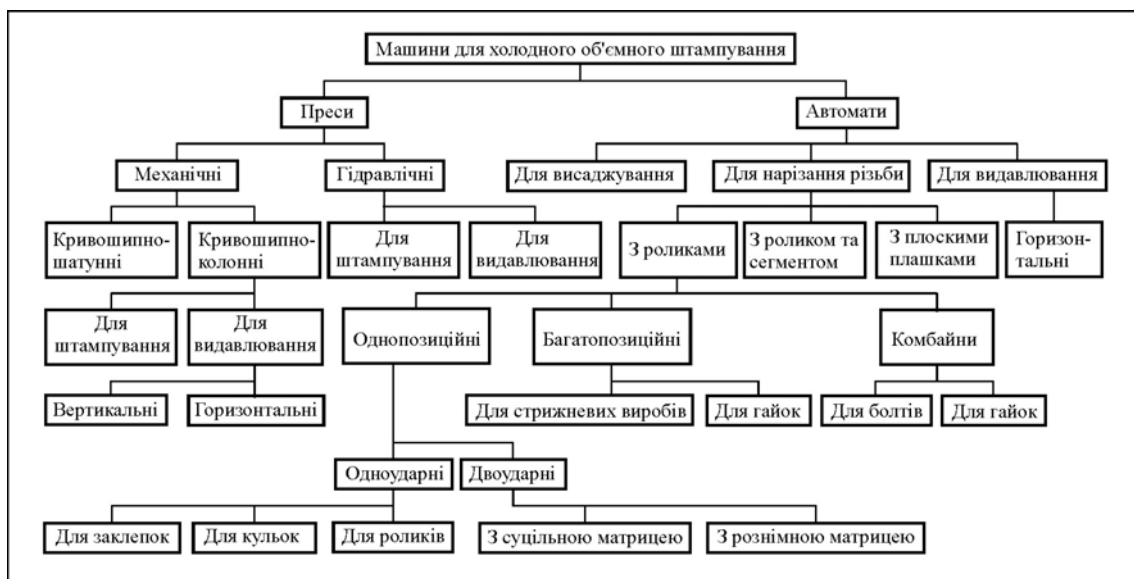
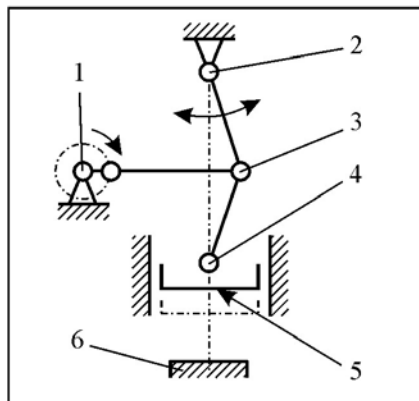


Рис. 8.1. Класифікація машин холодного об'ємного штампування

Механічні вертикальні преси випускають номінальним зусиллям 0,63...40 МН, довжиною ходу повзуна 100...900 мм та числом ходів від 10 до 250 у хвилину. Ці преси звичайно застосовують для штампування відносно простих деталей за один перехід: осаджування; карбування; пряме, зворотне та комбіноване видавлювання. В якості головного виконуючого механізму використовується кривошипно-штанунний (звичайно ексцентрикового типу) та кривошипно-колінний механізми. До основних переваг механічних пресів слід віднести безперервний рух пуансона із швидкістю, що змінюється за заданим законом. Механічні преси з кривошипно-колінним приводом мають невеликий робочий хід (45...200 мм) та застосовуються для осаджування, карбування, висаджування та штампування у відкритих штампах. Найбільш поширена схема *кривошипно-колінного преса* – з верхнім приводом та тягнучим шатуном.



Колінно-важільний механізм преса (рис. 8.2) є шарнірний чотири ланковий, одна ланка його зв'язана зі станиною в точці 2, а друга – з повзунком 4. Шарнір 3 з'єднаний з колінчастим валом 1 за допомогою шатуна.

Рис. 8.2. Колінно-важільний механізм карбувального преса: 1 – колінчастий вал; 2, 3, 4 – шарніри; 5 – повзун; 6 – стілець

При обертанні колінчастого валу, коли шарнір 3 колінно-важільного механізму займе своє крайнє (праве) положення, повзун 5 буде знаходитися у верхньому положенні. В нижньому положенні повзуна точки (шарніри) 2, 3, 4 встановлюються на одній прямій лінії. При цьому досягається найбільше зусилля на повзуні, яке необхідне для карбування виробів.

Привід повзуна здійснюється від електродвигуна через клиноремінну та зубчасту передачі.

Допоміжні механізми – ексцентрикний механізм регулювання закритої висоти, механізми верхнього та нижнього виштовхування, урівноважувачі повзуна та гальмо маховика. Верхній виштовхувач розташований в повзуні та приводиться в дію при зворотному ході повзуна. Нижній виштовхувач, що розташований в столі преса, також пов'язаний з повзуном за допомогою спеціальних тяг, до яких підвішена потужна траверса, що спирається безпосередньо на виштовхувач.

Станина преса – зварена, закритого типу, складається із двох стійок, стола та траверси.

Преси з кривошипним механізмом ексцентрикового типу застосовують головним чином для виробів з відносно довгою видавленою частиною (більше 2,5 діаметра). Хід повзуна у цих пресів на 20...50 % більше ходу повзуна кривошипно-колінних пресів. Кут повороту кривошипа α , на якому здійснюється робочий хід, складає 45° , що відповідає робочому ходу, який дорівнює 30...40 мм.

Для виконання енергоємних операцій видавлювання преси повинні мати більший, порівняно з звичайними пресами запас корисної енергії та потужні електродвигуни.

Кривошипні преси для видавлювання довгих деталей виконують з жорсткою станиною, яка має відносно невелику відстань між бічними стійками та короткий ексцентрикний або шестеренно-ексцентрикний головний вал. В конструкція цих пресів особливу увагу надають напрямним повзуна. Для усунення можливості перекосу повзуна під час робочого ходу його напрямні роблять у 1,5 рази більші ширини повзуна.

Багатопозиційні преси для ХОШ володіють значними перевагами перед однопозиційними, так як шляхом сполучення декількох формують операцій на одному пресі значно знижується трудомісткість додаткових робіт, скорочується персонал, що обслуговує, зменшуються виробничі площі та усуваються різні допоміжні та транспортні механізми.

Багатопозиційні преси виготовляють на базі кривошипних і кривошипно-колінних пресів. Перенесення заготовок на позицію на багатопозиційних пресах здійснюється грейферними подачами. Звичайно число позицій не перевищує чотирьох, при цьому позиція, на якій розвивається найбільше технологічне навантаження, повинна бути розташована в центрі. З метою забезпечення потрібної точності штампування, довжина напрямних повзуна звичайно виконується в 7...8 разів більшою його ширини.

8.2. Гідравлічні преси

Гідравлічні преси для ХОШ застосовують в основному для виготовлення деталей подовженої форми. Ці преси мають відносно великий робочий хід, забезпечують великі зусилля (до 40 МН) та незначні швидкості видавлювання. Основна перевага гідравлічних пресів – використання повного номінального зусилля рівномірно протягом всього робочого ходу. Ці преси не бояться можливого перевантаження, можна регулювати зусилля, швидкості та хід повзуна, крім того, можна зменшити динамічний удар при торканні інструмента з заготовкою шляхом зниження швидкості в момент торкання.

Гідравлічні преси мають наступні недоліки:

- низьку продуктивність;
- нерівномірну робочу швидкість інструмента в початковий момент пресування.

Розглянемо прес простої дії з рухом плунжера знизу вгору. На плунжері змонтований сталевий стіл з інструментом. Привод здійснюється від двох насосів. Повзун здійснює:

- холостий хід вгору;
- робочий хід (вгору);
- штампування;
- зворотній хід (вниз).

Спеціальна група гідравлічних пресів використовується для холодного видавлювання рельєфів штампів. Діапазон зусиль від 4 до 25 МН. Штамп для видавлювання порожнини в штамповому інструменті у вигляді циліндричних заготовок на гідравлічному пресі показано на рис. 8.3.

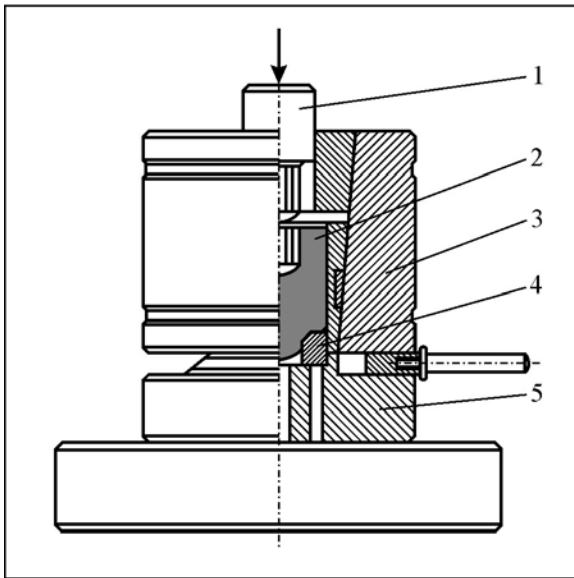


Рис. 8.3. Штамп для видавлювання порожнини в циліндричному штамповому інструменті: 1 – майстер-пуансон; 2 – заготовка; 3 – конічне кільце; 4 – циліндричне кільце-приймач; 5 – нижня плита

8.3. Автомати для холодного висаджування

Автомати призначені для об'ємного холодного висаджування виробів типу гайок, болтів, заклепок та інших видів метало-вирібної продукції. Найбільш поширено застосовуються однопозиційні автомати, які бувають одноударні та двоударні. В свою чергу, двоударні можуть бути як із суцільною матрицею, так і з рознімною.

На одноударних автоматах здійснюється висаджування виробів типу

шурупів, гвинтів, заклепок, у яких довжина l частини, що висаджується, дорівнює $2 \dots 2,5$ діаметра стрижня d .

На рис. 8.4, а представлена кінематична схема одноударного однопозиційного автомату з суцільною матрицею для виготовлення заклепок. Від електродвигуна 1 обертальний момент передається через зубчасту передачу 16 на колінчастий вал 2. На то ж валу обертається ексцентрик 15, який через тягу та фрикційну муфту 8 передає переривистий обертальний рух роликам 6 механізму подачі 7 (вид А).

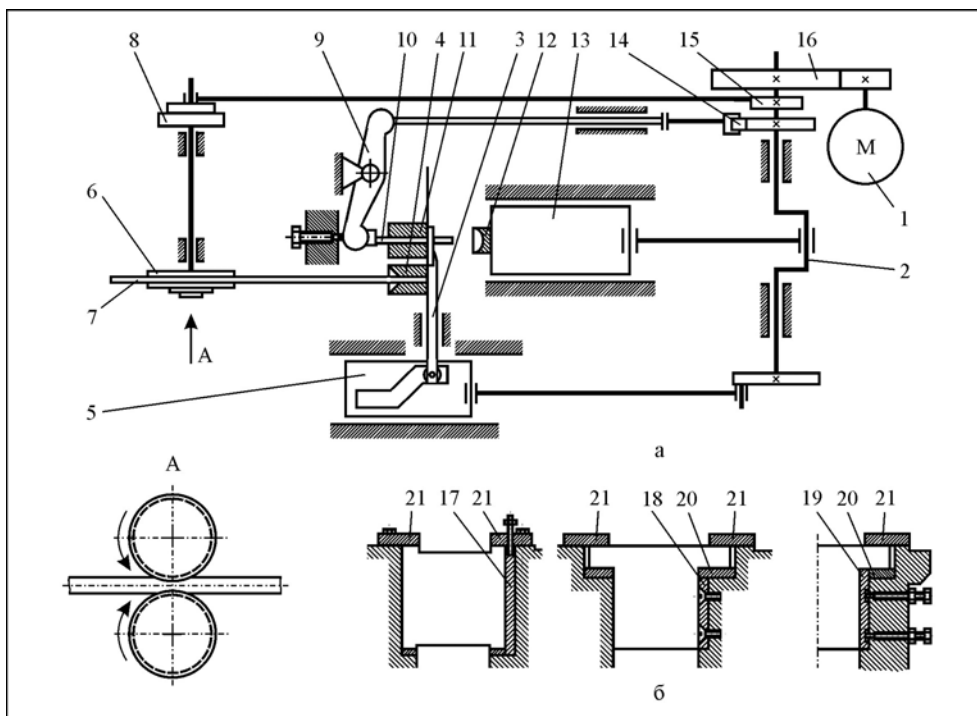


Рис. 8.4. Кінематична схема однопозиційного автомата (а). Форми перерізів повзунів одноударних автоматів (б) – прямокутна та Т-подібна: 1 – електродвигун; 2 – колінчастий вал; 3 – ножовий шток; 4 – відрізна матриця; 5 – бічний повзун; 6 – ролик; 7 – механізм подачі; 8 – фрикційна муфта; 9 – важіль; 10 – штовхач; 11 – висадочна матриця; 12 – висадочний пуансон; 13 – висадочний повзун; 14 – кулачковий механізм; 15 – ексцентрик; 16 – зубчаста передача; 17, 18, 19 – планки; 20 – вкладиші; 21 – притисні планки

Висадочний повзун 13 з пуансоном 12 здійснюють зворотно-поступальний рух. Від колінчастого валу 2 передається рух боковому повзуну 5, від якого працює ножовий шток 3, що відрізає заготовку в матриці 4 та переносить її до висадочної матриці 11. Після висаджування виріб виштовхується із матриці штовхачем 10 при повороті важелю 9, що діє від кулачкового механізму 14.

Повзуни одноударних автоматів мають в перерізі прямокутну чи Т-подібну форму (рис. 8.4, б).

Однопозиційні двоударні автомати з суцільною матрицею, порівняно з одноударними, застосовуються частіше, так як вони дозволяють виготовляти вироби з збільшеною головкою, тобто $l = 5d$.

Кінематична схема двоударного автомата представлена на рис. 8.5.

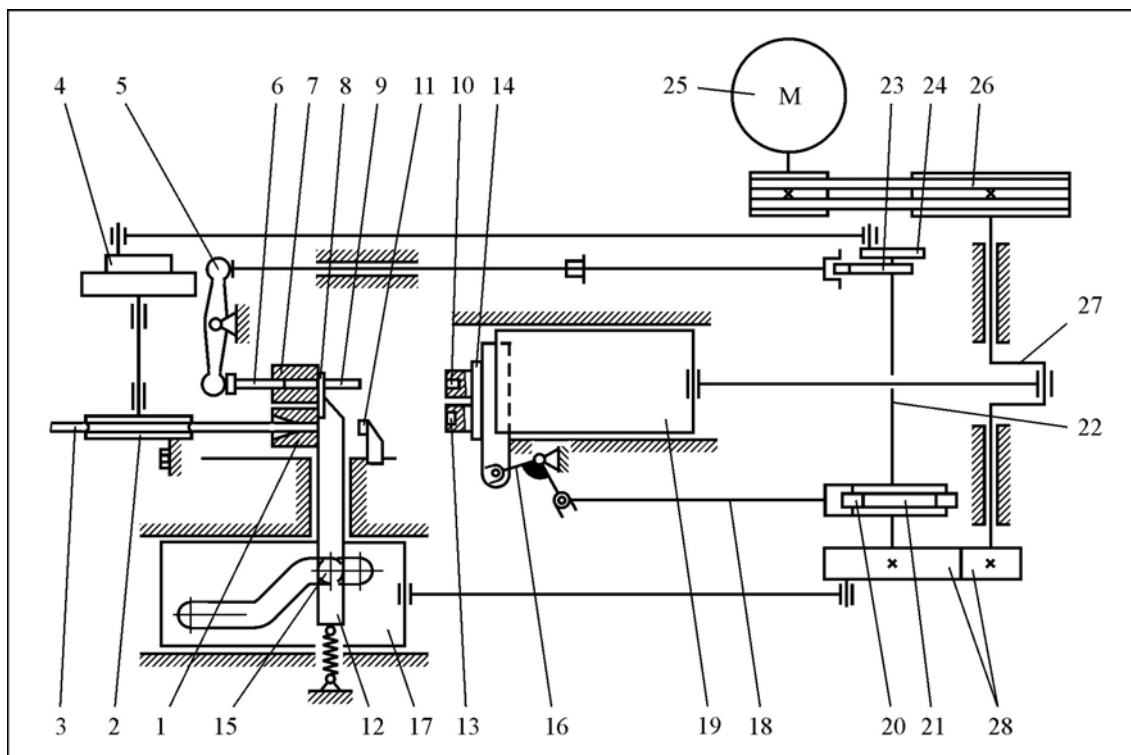


Рис. 8.5. Кінематична схема двоударного однопозиційного автомата А1221: 1 – відрізна матриця; 2- ролики; 3 – заготовка-дріт; 4 – храповий пристрій; 5 – важіль; 6 – виштовхувач; 7 – висаджувальна матриця; 8 – ніж; 9 – заготовка; 10 – пуансон; 11 – упор; 12 – ножовий шток; 13 – пуансон; 14 – ползок; 15 – ролик; 16 – двоплечий важіль; 17 – бічний повзун; 18 – шатун; 19 – головний повзун; 20 – ролик; 21 – кулачковий механізм; 22 – розподільний вал; 23 – виштовхувач; 24 – диск; 25 – електродвигун; 26 – клинорімінна передача; 27 – колінчастий вал; 28 – зубчаста передача

Заготовка-дріт 3 подається роликами 2 через відрізну матрицю 1 до упору 11. Ніж 8 відрізає заготовку 9, переносить її за допомогою спеціальної пружини до висадочної матриці та утримує до того моменту, поки пуансон 10 не виштовхне її в матрицю 7, після чого ніж повертається у вихідне положення, а пуансон 10 здійснює попереднє висаджування головки виробу. При другому ударі пуансон 13 здійснює остаточне висаджування головки. Рух пуансонів поздовж осі виробу здійснюється головним повзуном 19, що з'єднаний шатуном з колінчастим валом 27.

Поперечне переміщення пуансонів здійснюється за допомогою ползка 14, який зв'язаний двоплечим важелем 16, шатуном 18 та роликами 20 з кулачковим механізмом 21. Кулачковий механізм змонтований на розподільному валу 22, який отримує обертальний рух через зубчасту передачу 28.

Механізм подачі пруткового матеріалу має храповий пристрій 4, за допомогою якого здійснюється переривчасте обертання роликів подачі 2. Подача регулюється зміною ексцентриситету диска 24 за допомогою спецгайки та гвинта. Привід виштовхувача 6 та важелю 5 здійснюється від кулачка привода виштовхувача 23, який закріплено на розподільному валу.

Колінчастий вал 27 отримує обертальний момент від електродвигуна 25 через клиноремінну передачу 26. Ножовий шток 12 має такий ж принцип дії, як і на одноударному автоматі. Бічний повзун 17 постачається копірною доріжкою, в яку вставлений ролик 15, що зв'язаний з ножовим штоком.

Для точного настроювання взаємодії основних вузлів автомата використовують циклову діаграму, в якій за основний параметр прийнятий кут повороту колінчастого вала. Далі шляхом встановлення кулачків на певний кут задають послідовність роботи та взаємодії усіх механізмів.

В теперішній час двоударні автомати з суцільною матрицею випускаються для виготовлення виробів із дроту діаметром від 1,6 до 20 мм та довжиною стрижня від 4 до 200 мм. Номінальне зусилля автоматів – 63...2000 кН, а потужність їх привода відповідно від 3,2 до 50 кВт.

Двоударні автомати мають високе число ходів повзуна в хвилину: так, автомат АА1214А для дроту діаметром 8 мм працює з числом ходів в хвилину до 700, а автомат АБ1223 для прутків діаметром 20 мм – до 120.

Двоударні автомати з рознімною матрицею використовуються для деталей з подовженим стрижнем. На цих автоматах відрізана заготовка мірна заготовка за допомогою роликів, що подають, проштовхується крізь розкриті напівматриці до спеціального упору, далі при переміщенні напівматриці відрізається мірна заготовка та переноситься на вісь висаджування. При ході повзуна вперед пуансон формує головку за два удари.

Кінематична схема механізму затиснення та відрізування заготовки автомата з рознімною матрицею представлена на рис. 8.6.

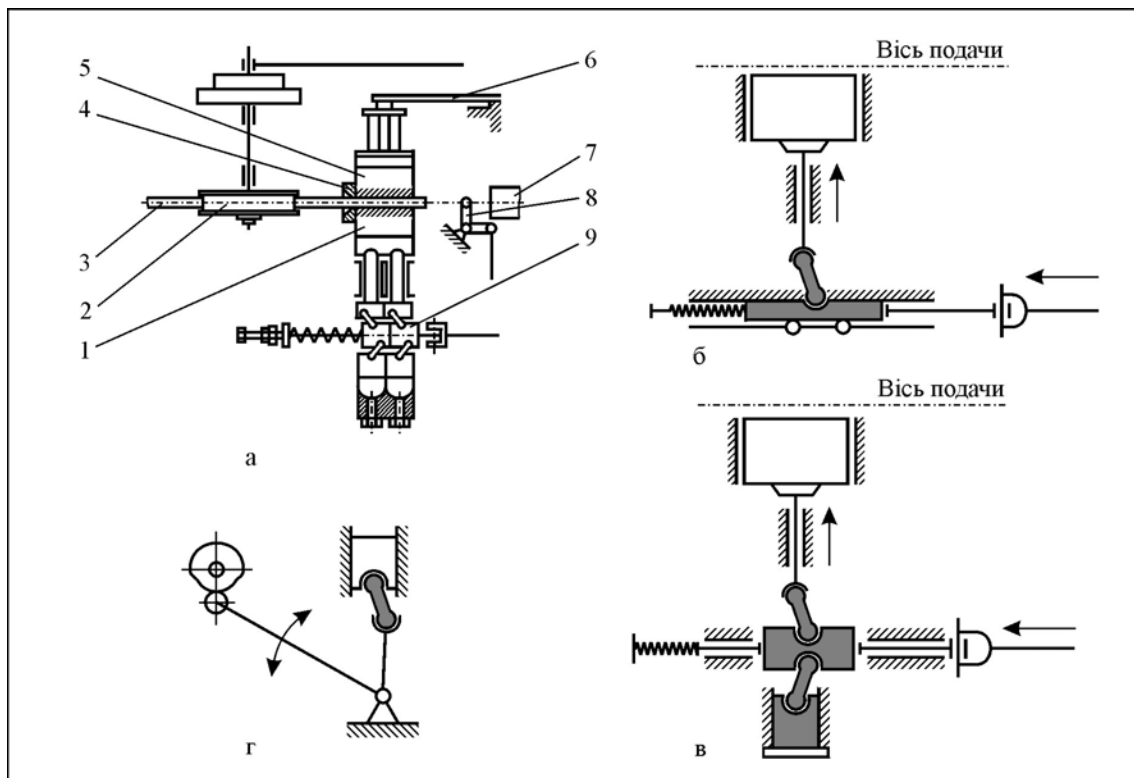


Рис. 8.6. Кінематична схема затиснення та відрізування заготовки холодновисаджувального автомата з рознімною матрицею (а): 1 – нижня напівматриця; 2 – ролики; 3 – дріт; 4 – відрізна матриця; 5 – верхня напівматриця; 6 – пружина; 7 – пуансон; 8 – поворотний упор; 9 – колінний важіль. Колінноважільні системи механізмів відрізування та затиснення заготовок : б – однобічного типу; в – двобічного типу; в – гойдального типу

Дріт 3 подається переривчасто роликми 2, що обертаються, до поворотного упору 8 через відрізу матриця 4 та розкриті напівматриці 1 та 5. Механізм відрізування та затиснення складається із двох пар колінних важелів 9.

При переміщенні напівматриці 1 вперед торцевою поверхнею від прутка відрізається заготовка, яка переноситься між обома напівматрицями з лінії подачі на лінію висаджування, а далі затискується в крайньому положенні. частина затисненої заготовки, що виступає висаджується пуансоном 7.

Після висаджування головки виробу напівматриці 1 та 5 зміщуються пружиною 6 у вихідне положення на лінію подачі та розсуваються при цьому роликком або клином, що опускається вниз при зворотному переміщенні матриці. Готовий виріб виштовхується із розкритої матриці заготовкою, що подається.

Різні колінно-важільні системи механізмів відрізування та затиснення показано на рис. 3.б, б, в. Ці автомати застосовуються для висаджування виробів з діаметром стрижня від 6 до 16 мм та довжиною від 16 до 190 мм. Число ходів висадочного повзуна в хвилину – відповідно від 270 до 110.

Багатопозиційні автомати призначені для виготовлення болтів, гвинтів та інших виробів стрижневого типу холодним висаджуванням з редагуванням із каліброваного, бунтового та пруткового матеріалу. Автомати, що постачаються механізмами для знімання фаски та різьбо накатними пристроями, працюють в режимі автоматів-комбайнів і повністю виготовляють та болти та інші подібні вироби.

Ці автомати випускаються переважно двох схем:

- з вертикальним розташуванням позицій штампування та інструмента (наприклад, А1921, А1923, А1924);

- з горизонтальним розташуванням позицій штампування та інструмента (наприклад, АВ1918, АВ1919, АВ1920).

Кінематична схема автомата А1921 з вертикальним розташуванням інструмента представлена на рис. 8.7.

Автомат складається із наступних вузлів та механізмів: станини, повзуна 25, муфти 11, гальма та привідних валів, приводу 13, коробки розподільних валів, механізму подачі 42, приводу та керування коробкою подачі, механізму відрізування 7, упору, механізму виштовхування 3, механізму перенесення, механізму накатування 16, транспортеру 21, інструменту.

На повзуні встановлені чотири пуансонотримача, що розташовані у вертикальній площині.

Зворотно-поступальний рух повзуну 25 передається через бугель від шатуна 24. Від постачається чотирма незалежними виштовхувачами із пуансона, що діють від копирів 26, які закріплені на станині. Виштовхування виробів із пуансонів відбувається при зворотному ході повзуна.

Муфта вмикання автомата – однодискова, фрикційна, пневматична з гетинаксовими вкладишами – передає обертання від електродвигуна через клинорімінну передачу 12 приймальному валу.

Гальмо – стрічкове, пневматичне. Гальмовий барабан розташований на одному валу з муфтою. Гальмування здійснюється пружиною.

Привод автомата складається із двох частин: головного приводу 13 та мікро- приводу 15. Останній служить для повільного обертання бугельного валу при налагодженні автомата.

Механізм подачі 42 подає матеріал до упору в зону ріжучого інструмента. Обертання роликів відбувається від кулачка 5 через обгінну муфту та шестерні. Для запобігання повороту обойми обгінної муфти передбачено колодке гальмо постійної дії. Стиснення роликів здійснюється стисненням повітрям через пневмоциліндр.

Механізм відрізування 7 служить для відрізування від прутка мірної заготовки та перенесення її на першу штампвальну позицію. Триплечий важіль механізму відрізування отримує гойдальний рух від прямого та зворотного кулачків поздовжнього розподільного валу 8. В передній частині важеля є спеціальне гніздо для кріплення відрізного ножа. При переміщенні заготовка підтримується підпружиненою планкою, що встановлена безпосередньо на ножі.

Механізм виштовхування 3 здійснює виштовхування заготовки із матриці на усіх чотирьох позиціях штампування. Від кулачків 4 на вертикальному валу коробки розподільних валів отримують гойдальний рух навколо нерухомої осі чотири важеля, кожний складається із

двох половинок, з'єднаних між собою зрізним запобіжним штифтом, який спрацьовує при виникненні перевантаження під час виштовхування.

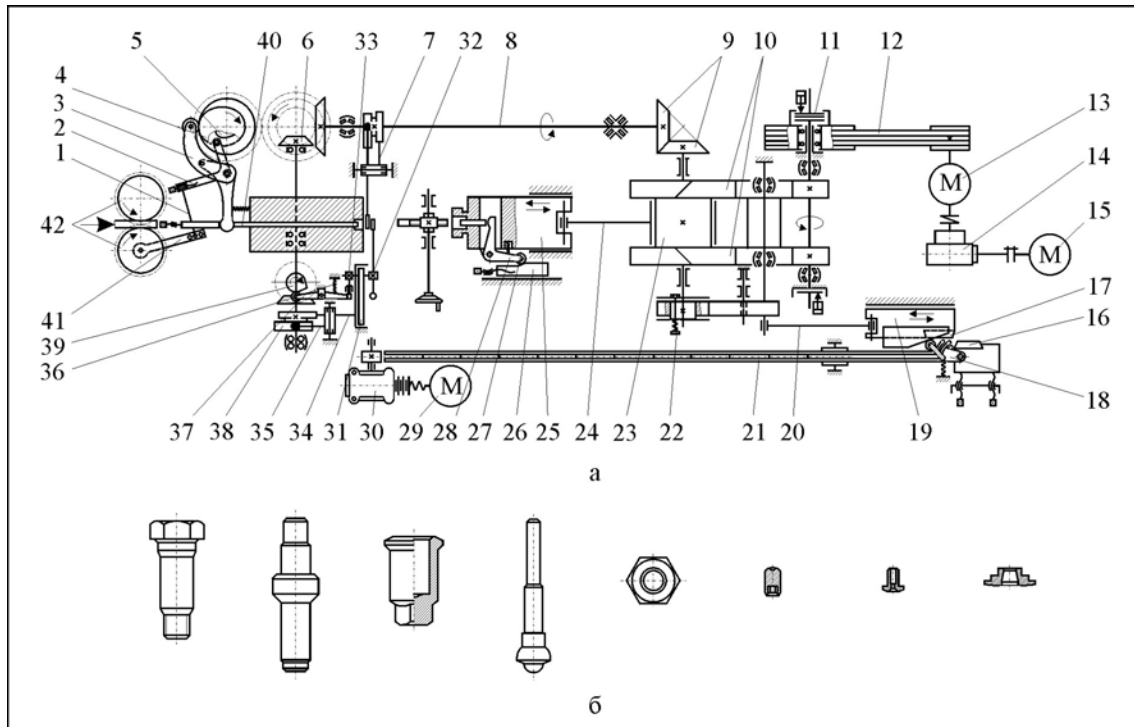


Рис. 8.7. Кінематична схема багатопозиційного автомата моделі А1921 (а) та зразки виробів (б): 1 – тяга; 2 – важіль; 3 – механізм виштовхування (двоплечі важелі); 4 – кулачок; 5 – кулачок; 6 – конічна шестерня; 7 – механізм відрізування; 8 – розподільний вал; 9 – конічні шестерні; 10 – косозубі шестерні; 11 – муфта; 12 – клиноремінна передача; 13 – головний електродвигун; 14 – редуктор; 15 – мікропривід; 16 – нерухома плоска плашка механізму накатування; 17 – рухома плоска плашка; 18 – механізм посилення; 19 – повзун накатування; 20 – кривошипно-шатунний механізм; 21 – транспортер; 22 – фрикційна муфта; 23 – бугельний вал; 24 – шатун; 25 – головний повзун; 26 – копір; 27 – ролик; 28 – важіль; 29 – електродвигун; 30 – редуктор; 31 – каретка; 32 – кліщі; 33 – зубчасті сектори; 34 – тяга; 35 – важіль; 36 – пружина; 37 – важелі; 38 – кулачки; 39 – кулачки; 40 – штовхач; 41 – куліса; 42 – механізм подачі (ролики)

Механізм перенесення заготовок служить для захоплення заготовки, що виштовхнута із інструмента, та перенесення її з однієї позиції штампування на наступну.

Взаємодія механізмів під час роботи автомата здійснюється у відповідності із цикловою діаграмою, що представлено на рис. 8.8.

Від головного електродвигуна 13 (див. рис. 8.7) через клиноремінну передачу 12 обертання передається на вал муфти 11; далі через блок паразитних шестерен обертання передається двом косозубим шестерням 10 бугельного валу 23.

Головний повзун 25, на якому закріплені пуансоні, отримує зворотно-поступальний рух від бугельного валу 23 через шатун 24.

Виштовхування виробів із пуансонів відбувається при зворотному ході повзуна 25, коли ролик 27 важелю 28 надходять на копір 26.

З бугельного валу 23 через пару конічних шестерен 9 обертання передається на бічний вал 8, від якого отримують рух механізм відрізування 7 та вали розподільної коробки.

Виштовхування виробів із матриць здійснюється кулачками 4, що сидять на розподільному валу, через двоплечі важелі 3 та штовхачі 40.

На тому ж валу розташований кулачок 5 приводу подачі прутка, який через важіль 2, тягу 1, кулісу 41 та обгінну муфту надає переривчастий обертальний рух роликами 42 коробки подачі дроту чи прутка. Від розподільного валу через конічну шестерню 6 отримує обертання поперечний вал, на якому сидять кулачки 38 приводу механізму переносу заготовок. Від цих

кулачків через важіль 35 та тягу 34 здійснюється зворотно-поступальний рух каретки 31 механізму переносу. Від поперечного валу через конічні шестерні отримує обертальний рух вертикальний вал, на якому закріплені кулачки 39 розтискування кліщів 32. Розтискування кліщів здійснюється від кулачків 39 через важелі 37 та зубчасті сектори 33. Стиснення кліщів здійснюється пружиною 36. Виштовхнутий із інструмента виріб через лоток попадає на транспортер 21, де захоплюється скребками транспортеру та подається на сковзало, звідки подається механізмом досилання 18 в зону накатування різьби. Привод транспортера здійснюється цепною передачею від окремого електродвигуна 29 та редуктора 30. Накатування різьби здійснюється плоскими плашками 16 та 17. Зворотно-поступальний рух повзуна накатування 19 здійснюється від бугельного валу 23 через фрикційну муфту 22 та шестеренний кривошипно-шатунний механізм 20.

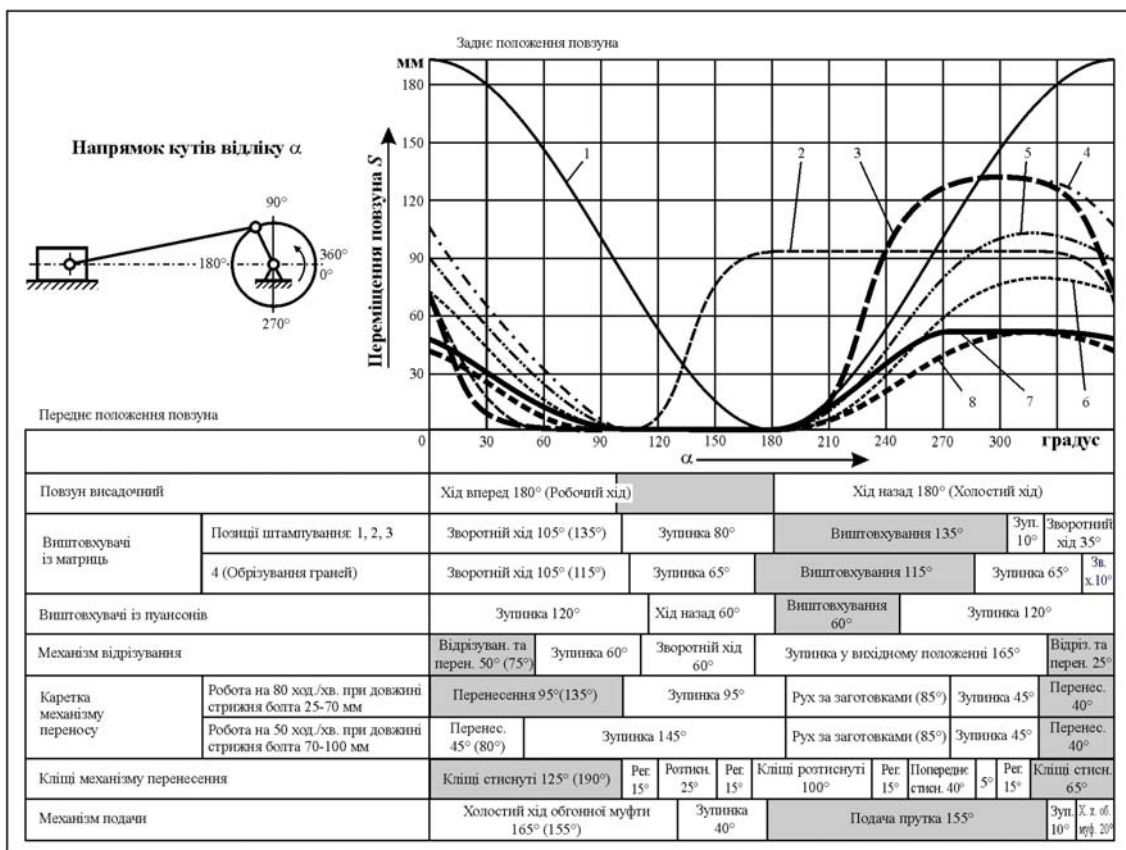


Рис. 8.8. Циклова діаграма автомата моделі А1921

На рис. 8.9. представлена кінематична схема багатопозиційного автомата моделі АВ1920 з горизонтальним розташуванням інструмента.

Автомати багатопозиційні гайкові призначені для виготовлення заготовок шестигранних гайок з фасками та отворами під різьбу та подібних виробів. В залежності від числа основних штампувальних позицій (не рахуючи відрізування) гайкові автомати випускаються наступних типів:

- трьохпозиційні (А1617А);
- чотирьохпозиційні (А1819А);
- п'ятипозиційні (АВ1818, АВ1819, АВ1821, АВ1822, АВ1823, АА1824).

На рис. 3.10 представлено загальний вид багатопозиційного гайкового автомата АА1824.

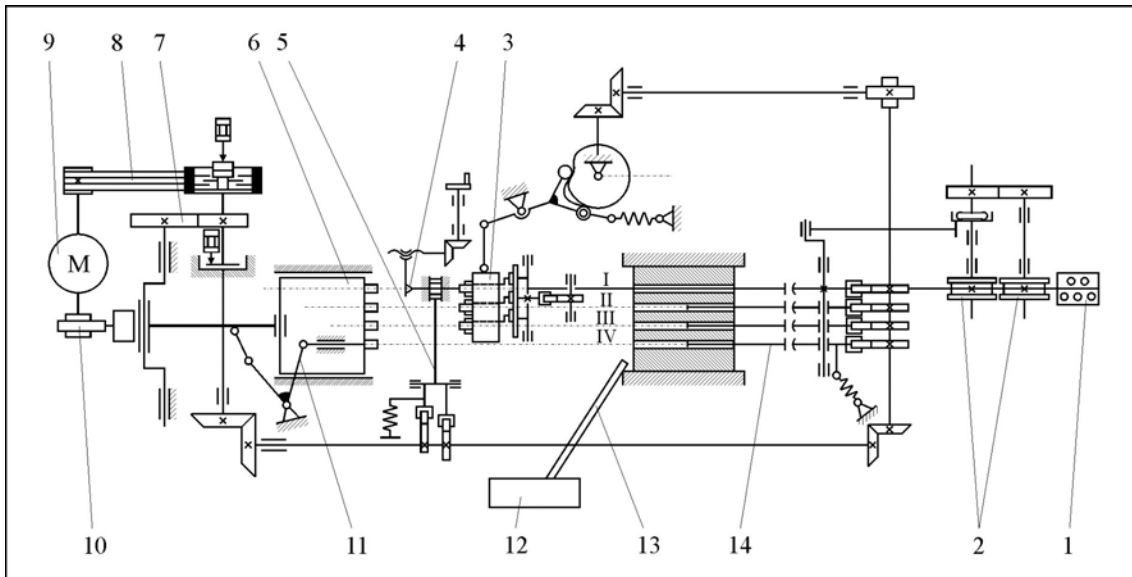


Рис. 8.9. Кінематична схема багатопозиційного автомата з горизонтальним розташуванням позицій штампування моделі АВ1920: 1 – правильно-розмотувальний пристрій; 2 – ролики, що подають; 3 – пристрій, що переносить; 4 – передній упор; 5 – механізм, що затискає; 6 – рухомий блок (повзун); 7 – зубчаста передача; 8 – клиноремінна передача; 9 – електродвигун; 10 – гальмо; 11 – двоплечий важіль; 12 – бункер для готової продукції; 13 – склиз; 14 – штовхач

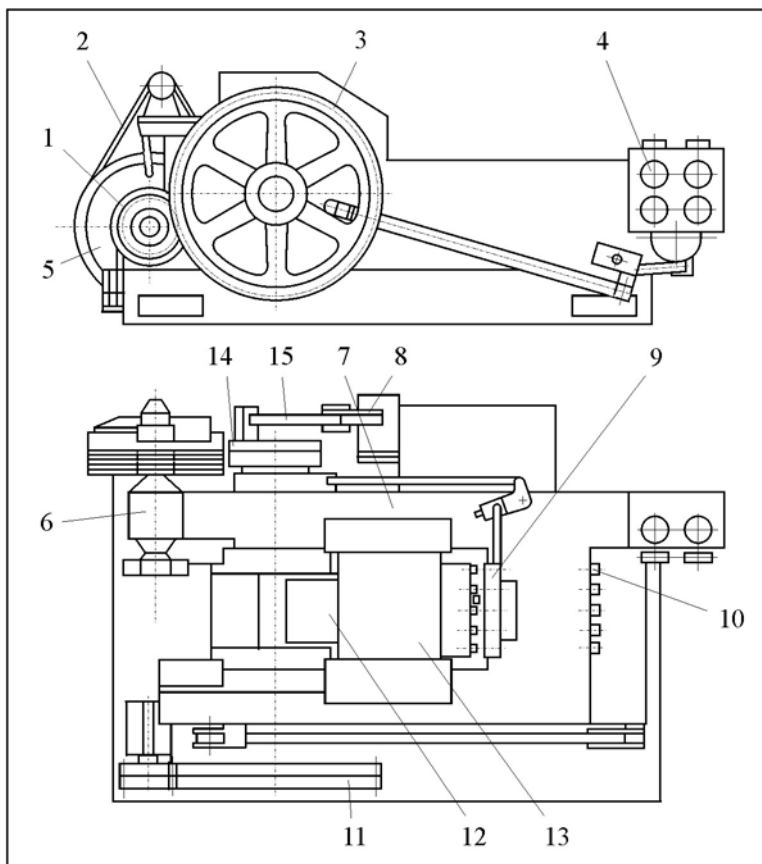


Рис. 8.10. Багатопозиційний гайковий автомат моделі АА1824:

- 1 – гальмо;
- 2 – клиноремінна передача;
- 3 – зубчаста передача;
- 4 – коробка подачі заготовки;
- 5 – маховик;
- 6 – електродвигун;
- 7 – станина;
- 8 – механізм відрізування;
- 9 – механізм перенесення;
- 10 – виштовхувач;
- 11 – зубчаста передача;
- 12 – колінчастий вал;
- 13 – механізм висаджування;
- 14 – привід;
- 15 – привід

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

Розділ 1

1. Основні види листової сталі.
2. Зміна властивостей листової сталі в процесі обробки та з часом.
3. Неметалеві матеріали.
4. Поняття про металографічні дослідження.
5. Механічні випробування листових матеріалів.
6. Технологічні випробування листових матеріалів.

Розділ 2

1. Визначення та схема операції відрізування.
2. Визначення та схема операції вирубування.
3. Визначення та схема операції пробивання.
4. Визначення та схема операції обрізування.
5. Визначення та схема операції розрізування.
6. Визначення та схема операції надрізування.
7. Визначення та схема операції проколювання.
8. Визначення та схема операції зачищення.
9. Визначення та схема операції висікання.
10. Визначення та схема операції просікання.
11. Механізм відрізування, оптимальний зазор, схема дії сил, стадії відрізування.
12. Розрахунок зусилля відрізування.
13. Відрізування труб в штампах.
14. Фізичні особливості процесу вирубування.
15. Зусилля вирубування та способи його зменшення.
16. Схема послідовного штампування.
17. Схема суміщеного штампування.
18. Чистове вирубування та пробивання.
19. Розкрій листового прокату. Види розкрою. Коефіцієнт використання матеріалу.

Розділ 3

1. Визначення та схема операції гнуття.
2. Визначення та схема операції рельєфного формування.
3. Визначення та схема операції витягування.
4. Визначення та схема операції відборткування.
5. Визначення та схема операції скручування.
6. Визначення та схема операції загортання.
7. Визначення та схема операції правлення.
8. Визначення та схема операції роздавання.
9. Визначення та схема операції обтискування.
10. Визначення та схема операції карбування.
11. Визначення та схема операції завивання.
12. Стадій гнуття. Розрахунок геометричних параметрів вихідної заготовки.
13. Пружні деформації при гнутті та способи їх зменшення.
14. Гнуття труб. Складне гнуття.
15. Способи витягування. Обладнання для витягування.
16. Витягування із притиском заготовки. Поняття про коефіцієнт витягування.
17. Розміри та форма вихідної заготовки при витягуванні циліндричного ковпачка із листової сталі.
18. Багатоперехідне витягування деталей у стрічці.
19. Витягування деталей коробчастої форми.
20. Особливості витягування автокузовних облицювальних деталей.
21. Схема витягування циліндричної деталі із потоншенням стінки.
22. Витягування деталей в захисній оболонці.

23. Витягування деталей із не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорованої заготовки).
24. Відборткування отворів. Розрахунок діаметра центрального отвора під відборткування.
25. Схеми формоутворення деталей обтискуванням. Форми браку.
26. Роздавання пустотілих циліндричних заготовок. Форми браку.
27. Правлення плоских та тороїдальних поверхонь.
28. Схеми завивання шарнірних петель.

Розділ 4

1. Способи інтенсифікації формозміни заготовок.
2. Імпульсні види листового штампування.
3. Комбіновані та складальні операції.
4. Загальні відомості про САПР технологічних процесів листового штампування.

Розділ 5

1. Класифікація штампів.
2. Послідовність проектування штампа.
3. Типові конструкції штампів.
4. Нормалізовані та оригінальні деталі штампів.
5. Розрахунок пуансонів на міцність.
6. Розрахунок буферних пристроїв.
7. Розрахунок координат центру тиску штампа.
8. Захисні пристрої, що забезпечують безпечну роботу на пресах.

Розділ 6

1. Принципові особливості процесів холодного об'ємного штампування (ХОШ).
2. Підготовчі операції ХОШ.
3. Вибір матеріалу заготовки.
4. Травлення прутків.
5. Попередня та проміжна термообробка.
6. Підготовка поверхні під ХОШ.
7. Поняття про формозмінні операції ХОШ.
8. Осаджування та висаджування.
9. Пряме видавлювання: стадії процесу.
10. Редакування.
11. Зворотне видавлювання: стадії процесу.

Розділ 7

1. Основні етапи формозміни.
2. Штампувальні операції.
3. Процеси ХОШ з локальним деформуванням.
4. Ротаційне витягування.
5. Сферорухливе штампування.
6. Комбіноване видавлювання високих ковпачків.
7. Конструктивне виконання пуансонів лоя ХОШ.
8. Конструктивне виконання матриць для ХОШ.
9. Типові конструкції штампів для ХОШ.

Розділ 8

1. Класифікація машин для ХОШ.
2. Механічні вертикальні преси для ХОШ.
3. Гідравлічні преси для ХОШ.
4. Автомати для холодного висаджування. Поняття про циклову діаграму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Навроцкий А. Г. Кузнечное ремесло / А. Г. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Т.1. 1986. – 568 с.
3. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
4. Боков В. М. Фізичні особливості та прогнозування якості процесу вирубування / В. М. Боков, О. С. Скирда // 36. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / - Вип. 17. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 123 – 127.
5. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил.
6. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
7. Мещерин В. Т., Чарнко Д. В. Технология производства кузнечно-штамповочного оборудования и штамповой оснастки [Текст]: учеб. пособие / В. Т. Мещерин, Д. В. Чарнко. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. – 376 с.
8. Спосіб витягування деталі у штампі із плоскої заготовки: пат. 32221 Україна: МПК В21D 1/00 / Боков В. М., Троян М. В.; володілець Кіровоградський національний технічний університет. – заявл.24.12.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.
9. Спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком: пат. 143027 Україна: МПК В26F 1/40, В21D 22/00 / Боков В. М., Шийко О. О.; заявник та власник Центральноукраїнський національний технічний університет. – № u 2019 12214; заявл. 24.12.2019; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
10. Спосіб витягування деталей з притиском фланцю плоскої листової заготовки: пат. 138268 Україна: МПК В26F 1/40, В21D 22/00 / Боков В. М., Шийко О. О.; заявник та власник Центральноукраїнський національний технічний університет. – № u 2019 04647; заявл. 02.05.2019; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 22.
11. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
12. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Учебник для вузов.– 3-е изд., пере раб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с., ил.
13. Спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею: пат. 145684 Україна: МПК В21D 22/00 / Боков В. М., Ганул Д. В.; володілець Центральноукраїнський національний технічний університет. – u 2020 05057; заявл. 04.08.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК**А**

Абразивна частка 73
Автомати для холодного висаджування 197

Б

Блискуча поверхня 23
Блоки штампів 137
Булат 6

В

Вантажні гвинти 141
Відбортування 44, 84
Відрізування 18, 21
Відхід 38
Видавлювання:
- пряме 173
- зворотне 175
- поперечне 176
Викривлення вічок сітки 76
Випробування 15
Вирубування 18, 28, 35
Висаджування 170
Вісікання 21
Витягування 43, 56
Вихідна заготовка 43, 47
Виштовхувач 44, 58
Вогнище пластичної деформації 71
Втрата усталеності 91

Г

Гармонічне коливання інструмента 29
Гідравлічний прес 10, 196
Гідравлічні гільотичні ножиці 10
Гнуття 43, 46
Головний розріз штампа 116
Граничний коефіцієнт:
- відбортування 86
- витягування 63, 79
- обгискування 91
- роздавання 94

Д

Двобандажна матриця 192
Деформаційне старіння 14
Деформуємість 161
Діаметр вихідної заготовки 61
Довжина розгортки петлі 99
Донна ділянка 61
Допустима формозміна 15

Е

Епюра напружень 67
 Ескізна компоновка 126
 Етапи формозміни 177

З

Завивання 45, 98
 Загортання 44, 98
 Зазор:
 - не оптимальний 29
 - оптимальний 21, 29
 - двобічний 36
 Захисна оболонка 72, 74
 Захисні пристрої 157
 Зачищення 20, 35
 Зерно 15
 Знімач 22, 28
 Зусилля:
 - вирубування та пробивання 31
 - витягування 68
 - правлення 98
 - проштовхування та знімання 31

І

Інструмент:
 - виконавчі розміри 30
 - робочий 161
 Інтенсифікація:
 - витягування 80
 - формозміни заготовок 100

К

Калібрування 99, 177
 Карбування 45
 Класифікація:
 - штампів 115
 - способів відрізування 164
 - машин для ХОШ 195
 Клинове ребро 36
 Коефіцієнт:
 - використання матеріалу 38
 - витягування 62, 68, 79
 Кольчуга 6
 Комбіноване видавлювання високих ковпачків 186
 Комбіновані операції 108
 Компенсація пружинення 51
 Комплекс лазерного розкрою 9
 Контрпуансон 36
 Коробка 67
 Координатно-пробивний прес 9
 Корозійне розтріскування 14
 Крок подачі 41
 Кут сколювання 23

Л

Латунна оболонка 75
Лінія різання рулонного матеріалу 11
Листовий прокат:
- чорні метали 12
- кольорові метали 13
Локальне деформування 104, 185

М

Матеріал робочих деталей штампа 144
Матриця 28, 32, 37, 43, 46, 59, 143, 190
Машина плазмового різання 10
Металографія 8
Механічний вертикальний прес 195
Мідна оболонка 75
Морфологія зміни форми фланця 77, 85

Н

Надрізування 20
Напрявні вузли 138
Ніж 22, 24
Ножиці 24, 25
Норма витрати 41
Нормалізовані деталі штампів 137

О

Обрізування 19
Обтискування 45, 89
Операційний ескіз 119
Осаджування 170
Основні терміни 125
Основний напис 222

П

Переходи штампування 182
Підготовка поверхні 167
План верху 118
План низу 117
Плита нижня 28
Площа тиску 161
Потоншення стінки 70, 72
Правлення 44, 98
Прес швидкохідний високоточний 11
Притиск 21, 41
Притискач 44
Пробивання 19, 28
Проколювання 20
Проміжний шар 161
Просікання 21
Противідтискач 22
Пружні деформації 49
Пуансон 28, 32, 36, 43, 44, 46, 142, 189
Пульсуюче витягування 104

Р

Радіус нейтрального шару 47
 Ребро жорсткості 51
 Реверсивне витягування 58
 Редакування 175
 Рельєфне формування 43, 95
 Робота деформування 32
 Роздавання 44, 93
 Розкочування торців 185
 Розкрій:
 - багаторядний 39
 - безвідхідний 39
 - з відходами 38
 - з вирубуванням перемички 39
 - дворядний 41
 - косий 39
 - маловідхідний 39
 - комбінований 39
 - поздовжній 39
 - поперечний 39
 - сортового прокату 42
 - шаховий 41
 Розрізування 19
 Ротаційне витягування 185
 Рулонний прокат 12

С

САПР:
 - технологічних процесів 111
 - КОМПАС-ШТАМП 112
 Сітчаста заготовка 76
 Складальне креслення 129
 Складне гнуття 55
 Скручування 43
 Смуги ковзання 14
 Специфікація 123
 Спосіб витягування 80, 82
 Стадії процесу 23, 48
 Сталь легована 13
 Стійкість штампа 146
 Стрічка 12
 Структурна схема пуансона 189
 Сучасна технологія 9
 Сучасний прес 9
 Схеми:
 - завивання 99
 - правлення 98

Т

Термообробка 145
 Техніка безпеки 157
 Технологічне деформування 15
 Технічні вимоги 120
 Травлення прутків 163
 Тріщина сколювання 23

Труба 27, 53

У

Упор 22

Утворення «залишку» 77

Ф

Фасонування 177, 179

Фестони 62, 92

Фланець 60, 64

Формозмінні операції 43

Форма робочої частини пуансона 85

Формування 96

Фрактографія 72

Х

Хвостовики 139

Ц

«Цар-молот» 8

Циклова діаграма 202

Ч

Число переходів 63, 65

Чистове вирубування 36

Ш

Шаблон 52

Шабот 8

Шолом 6

Штаба 40

Штамп:

- для виготовлення трійників 102
- для видавлювання 194
- для вирубування 131, 132
- для витягуванням 73
- для витягування з глибоким охолодженням 104
- для витягування з з нагріванням 103
- для гідродинамічного витягування 104
- для гнуття 134
- для кільцевого обтягування 73
- однопозиційний 193
- для обтискування 93
- послідовної дії 135, 136
- послідовно-суміщеної дії 109
- для пробивання 133
- для роздавання 96
- для складання висаджуванням 111
- для складання гнуттям 109, 110
- для складання загортанням 110
- для складання обтискуванням 110
- для складання правленням 110

- суміщеної дії 133, 134
- Штампувальні операції 178
- Штампованість 15
- Штамування:
 - вибухом 105
 - електроімпульсне 107
 - імпульсом магнітного поля 107
 - на автоматах 180
 - на пресах 179
 - послідовне 33, 34
 - суміщене 33, 34

Я

Якість прокату 163

Навчальне видання

Боков Віктор Михайлович

ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ

Підручник

Комп'ютерний набір, комп'ютерна графіка,
верстка та технічне оформлення: Боков В. М.

Тиражування: Каліч О. Г.

Підписано до друку 1.07.2021. Формат 60×84/8. Папір офсетний. Гарнітура Таймс.
Друк. резограф. Ум. друк. арк. 26,62. Тираж 100 прим. Зак. № 0510.

Надруковано: ПП «Ексклюзив-Систем».
Свідоцтво держ. реєстру ДК № 4470 від 17.01.2013 р.

*29006, м. Кропивницький, вул. Шевченко, 25
тел./факс 24-35-53*