

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Листове штампування (ЛШ) знаходить застосування у всіх галузях виробництва і, особливо, в автомобілебудуванні, радіо- і приладобудуванні, авіабудуванні.

ЛШ є розповсюдженим, прогресивним різновидом ОМТ.

З листового матеріалу (лист, стрічка, штаба) отримують різноманітні складні деталі (від частки міліметра до декількох метрів).

ЛШ має ряд переваг:

- можливість одержання деталей складної конфігурації, які неможливо одержати іншими видами обробки;
- створення міцних і твердих, але легких конструкцій;
- висока точність деталей;
- гарна якість поверхні деталі;
- швидка пристосовність до масштабів виробництва;
- масовий випуск із низькою собівартістю;
- висока продуктивність;
- відносно нескладна механізація і автоматизація процесів;
- можливість використання некваліфікованої робочої сили;
- високий коефіцієнт використання матеріалу (КВМ).

Переваги ЛШ дозволяють виготовляти в ряді галузей до 60...80 % деталей від загальної кількості, а в деяких до 98 %.

1.1 Класифікація основних операцій листового штампування

Всі операції ЛШ розділяють на наступні основні групи:

- розділові;
- формоутворюючі (формозмінні);
- комбіновані;
- штампозбиральні.

При виконанні розділових операцій деформування заготовки відбувається аж до руйнування. Вони пов'язані з відділенням однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому або незамкнутому контурі (відрізка, вирубка, пробивання, надрізання, розрізання, обрізка, зачищення й ін.).

При формоутворюючих операціях прагнуть до створення умов, при яких може бути отримана найбільша формозміна без руйнування. У процесі формозмінних операцій плоска або порожниста заготовка перетворюється в просторову деталь (гнуття, витяжка, відборткування, формування, обтиск, роздача).

Комбіноване штампування являє собою сполучення декількох технологічних операцій (в одну операцію: різка і гнуття, вирубка і витяжка, витяжка і рельєфне формування).

Залежно від способу сполучення операцій розділяють: суміщене, послідовне і суміщено-послідовне штампування.

При суміщеному штампуванні деталь виготовляється за один хід преса і за одну установку заготовки.

При послідовному штампуванні деталь виготовляється із заготовки окремими пуансонами за кілька ходів преса при переміщенні її уздовж штампа. При сталому процесі за кожний хід преса виготовляється деталь.

При суміщено-послідовному штампуванні деталь виготовляється за кілька переходів в одному штампі суміщеним і послідовним штампуванням.

Штампозбиральні операції призначені для з'єднання деталей в один виріб (запресовування, клепання, закачування, холодне пластичне зварювання, вальцювання).



Рисунок 1.1 – Класифікація процесів листового штампування

1.2 Класифікація машин і оснащення для листового штампування. Серійність виробництва

Для виконання штампувальних операцій використовуються різні машини:

- ножиці з паралельними, похилими, дисковими ножами;
- преси кривошипні прості, подвійної і потрійної дії;
- гідравлічні преси;
- преси з автоматичною подачею листового матеріалу, автомати і напівавтомати;
- машини і верстати для виправлення і гнуття та інші машини.

Вироби виготовляють за допомогою спеціальних інструментів – штампів.

Штампи підрозділяють від характеру і роду операцій:

- вирубні;
- для гнуття;
- пробивні;
- формувальні та ін.

Штампи можуть бути прості – одноопераційні і складні – багатоопераційні, а також комбіновані.

Прогресивність тих або інших технологічних методів нерозривно пов'язана з типом виробництва (із серійністю). З організації виробництва відомо, що тип виробництва визначається характером завантаження робочого місця і характером руху деталі між робочими місцями.

Найбільше поширення ЛШ одержало в багатосерійному і масовому виробництві.

Таблиця 1.1 – Серійність виробництва

Тип виробництва	Масове	Багато-серійне	Серійне	Дрібно-серійне	Одиничне
Кількість операцій, закріплених за одним пресом	1...3	3...10	10...30	30...100	Не визначено

У дрібносерійному і одиничному виробництві ЛШ характеризується використанням універсальних спрощених і дешевих штампів, а також застосуванням нових технологічних методів (штампування гумою, поліуретаном, рідиною, вибухом).

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ І МЕТОДИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

При виборі матеріалу необхідно враховувати:

- механічну міцність, твердість, ударну в'язкість (для всіх видів приладо- і машинобудування);
- опір корозії (хімічні і медичні прилади, кораблебудування та ін.);
- теплопровідність і теплостійкість (прилади, літальні апарати, посуд і т.д.);
- електро- і магнітопровідність (електротехнічні вироби);
- масу (авто- і авіабудування);
- зносостійкість і довговічність (транспортні засоби, господарські прилади).

Крім цих властивостей, які визначають експлуатаційну якість виробів, на вибір матеріалу залежно від виду і конструкції виробу впливають і технологічні фактори, пов'язані з характером і ступенем потрібної деформації.

Технологічні властивості металу залежать від механічних властивостей, хімічного состава, структури і величини зерна, напрямку волокон при прокатці – анізотропії металу, термообробки, ступеня деформації (наклепу).

2.1 Механічні властивості металів

Найкращі результати для визначення механічних властивостей дають випробування на розтягання, які дозволяють визначити міцнісні характеристики (межа текучості, міцності і т.д.), показники пластичності (відносне подовження і відносне звуження, коефіцієнт анізотропії і т.д.).

Труднощі випробування на розтягання тонких листових зразків полягає в тім, що вони мають інший характер руйнування в порівнянні із круглими зразками. Цим викликані розбіжності результатів випробувань круглих і плоских зразків. Тому випробування тонколистових металів здійснюються за ГОСТ 11701-66. Величина рівномірного відносного

подовження – δ_p , здійснюваного до утворення шийки, характеризує здатність даного металу до штампування (чим вона вище, тим краще здатність до штампування).

Крім цього показника визначається повне відносне подовження після розриву зразка.

Показник найбільшої пластичності металу при розтяганні може бути виражений відносним звуженням - ψ (чим ψ вище, тим краще здатність до штампування).

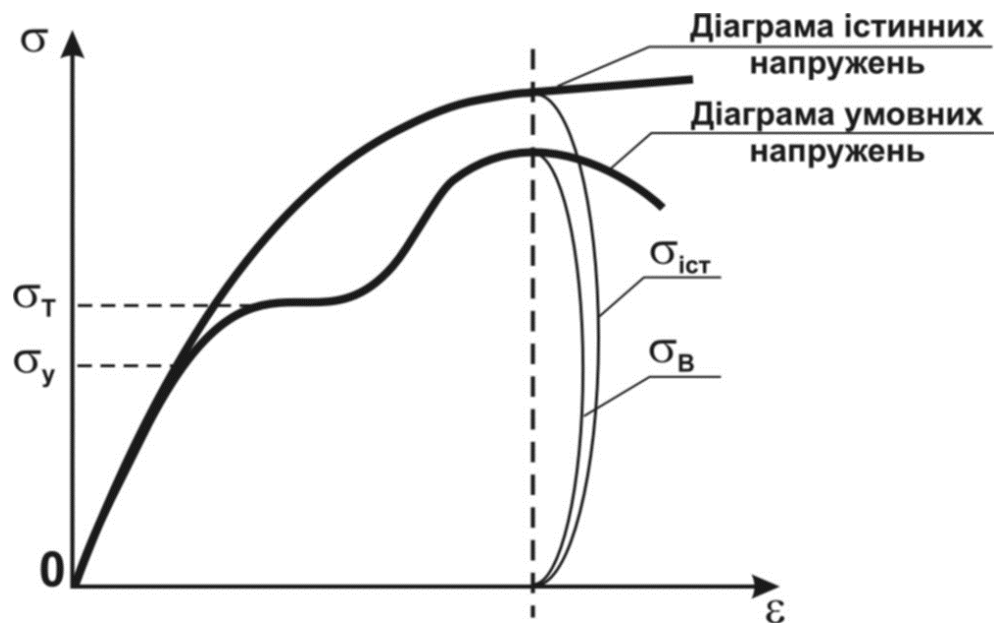


Рисунок 2.1 – Діаграми залежності між напруженнями і деформаціями

Метал підбирається залежно від призначення і умов роботи виробу, а також технології його одержання.

При розділових операціях метали з високим σ_T дають чистий зріз; для формозмінних операцій бажаний низький σ_T , що сприяє зменшенню пружної деформації після штампування. Це особливо важливо при гнутті, де пружність позначається найбільш сильно.

Глибока витяжка здійснюється краще, чим більше відносне подовження і чим більше різниця між тимчасовим опором розриву σ_B і межею текучості даного матеріалу σ_T . Досить гарним співвідношенням можна вважати, коли $m_\sigma = \sigma_T / \sigma_B \leq 0,65$ при відносному подовженні $\delta \approx 30\%$.

Для штампування застосовується велика кількість металів, а також неметалічні матеріали: пресшпан, гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, фібра, картон, папір, пергамент, шкіра, гума, сукно і т.д.

2.2 Основні матеріали для листового штампування

Метали, що застосовуються в ЛШ виробництві можна розділити на дві основні групи:

1) Чорні (листові) - прокатна сталь із різним вмістом вуглецю й інших елементів.

2) Кольорові (прокатні) метали і їхні сплави.

Найпоширенішими є:

- сталь різних марок і сортів;
- мідь і її сплави (латунь, бронза, мельхіор та ін.);
- алюміній, магній і їхні сплави (дуралюмін, алюмінієво-магнієві сплави та інше);
- цинк і оцинкована сталь;
- нікель і нікелеві сплави.

Менш розповсюджені, але в деяких галузях часто застосовуються матеріали:

- молібден і його сплави;
- тантал, ніобій і їхні сплави;
- спеціальні нікелеві і кобальтові сплави (інвар, платиніт, ін.);
- берилій, цирконій і їхні сплави;
- благородні метали (золото й срібло) та інше.

2.3 Сортамент листових матеріалів

Матеріал, який застосовується у листовому штампуванні за видом вихідної заготовки, підрозділяють на листи, штаби, стрічки (рулони) і штучні заготовки.

Нормальні розміри листів – 710х1420, 1000х2000, 1250х2500, 1500х3000, 2000х5000 мм. По особливому замовленню згідно ГОСТ можуть бути виготовлені листи понад нормальні розміри.

Штаби виготовляють шириною до 200 мм (визначається розкромом матеріалу) і довжиною до 2000 мм (довжина листа). Короткі штаби – великий відхід, довгі (більше 2 м) – незручність у роботі.

Стрічки виготовляють різної ширини (до 2300 мм) і довжиною від кілька десятків метрів, упаковані у вигляді рулонів. Довжина стрічки в рулоні тонколистової сталі, може бути до 300 м.

У масовому виробництві найбільш доцільна рулонна заготовка, стрічка дає можливість широко користуватися різними типами автоматичних подач.

2.4 Методи випробувань і визначення механічних і технологічних властивостей листових матеріалів

Придатність до штампування і подальшої експлуатації – це основні вимоги, пропоновані до матеріалів.

Види випробувань:

- загальні – встановлення форми, розмірів і стану поверхні листових матеріалів;
- хімічні – визначення вмісту і опору корозії;
- металографічні – дослідження макро- і мікроструктури, визначення напрямку волокон;
- механічні – визначення твердості, межі текучості, тимчасового опору розриву, відносного подовження і звуження, а також модуля зміцнення;
- технологічні – виявлення здатності металу до пластичної деформації.

РОЗДІЛ 3

РОЗКРІЙ ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ

3.1 Основні положення

Розкроєм матеріалу при ЛШ називають раціональний спосіб розміщення заготовок на листі, штабі, стрічці.

Розкрій листового матеріалу на штаби і штучні заготовки є першою операцією, пов'язаною із втратами у відхід матеріалу.

Економічність розкрою оцінюється *коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ)*:

$$КВМ = \frac{F_{\partial}}{F_{н.в.}} \cdot 100\% \quad \text{або} \quad КВМ = \frac{G_{\partial}}{G_{н.в.}} \cdot 100\% \quad \text{або} \quad КИМ = \frac{n_L \cdot F_{\partial}}{L \cdot B} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де F_{∂} , G_{∂} – площа поверхні і маса деталі;

$F_{н.в.}$, $G_{н.в.}$ – площа поверхні і маса норми витрати;

n_L – кількість деталей, одержуваних з листа;

L, B – довжина та ширина вихідного листа.

Нормою витрати називають кількість матеріалу, необхідну для виготовлення однієї деталі, з врахуванням всіх втрат матеріалу в процесі штампування.

Технологічність конструкції деталі, вдале розташування її на листі, мінімальна перетинка між деталями і максимальне використання відходів підвищує КВМ.

Перетинка робиться між двома розташованими деталями і по контуру штаби, без неї практично неможливо одержати якісний контур заготовки.

Основні правила розкрою матеріалу:

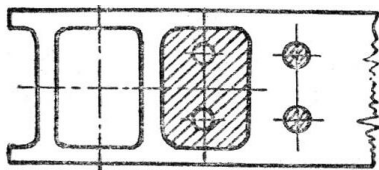
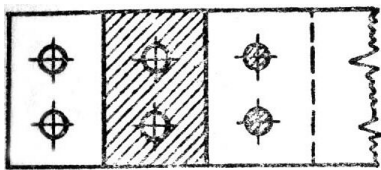
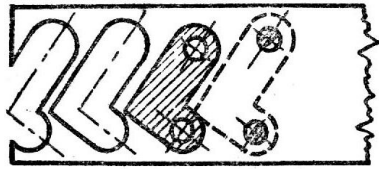
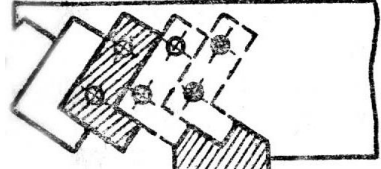
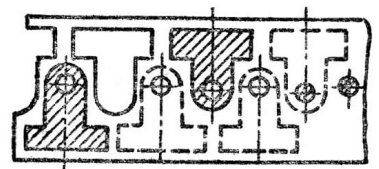
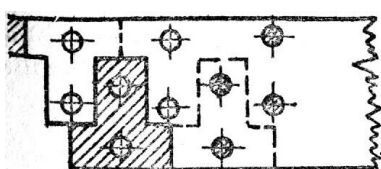
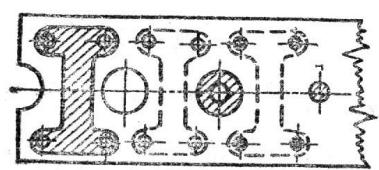
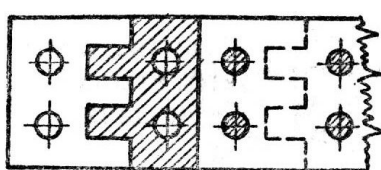
- Різання заготовок необхідно робити за розробленими картами розкрою.
- При різанні великих заготовок у дрібносерійному виробництві застосовувати комбінований розкрій.

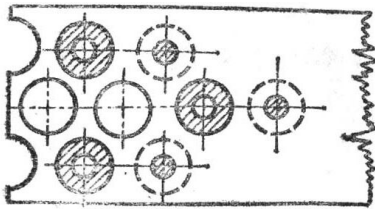
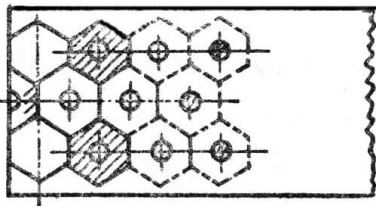
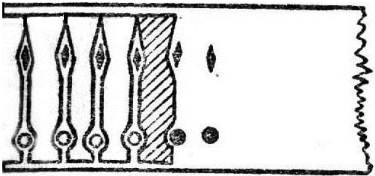
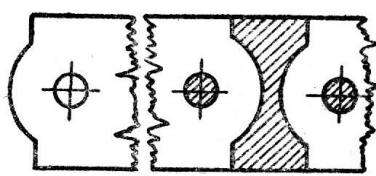
- Різання вузьких штаб робити уздовж листа.
- Різати широкі, а не вузькі штаби – при цьому необхідна менша кількість різів.
- У багатосерійному та масовому виробництві необхідно замовляти спеціальні мірні листи.
- У багатосерійному і масовому виробництві для одержання невеликих деталей доцільно застосовувати стрічковий рулонний матеріал.

3.2 Способи розкрою

Застосовувані на практиці види розкрою при вирубці заготовок різної форми можуть бути зведені до наступних основних видів.

Таблиця 3.1 – Типи розкрою

Тип розкрою	Розкрій з відходом	Маловідхідний розкрій
1	2	3
Прямий		
Похилий		
Зустрічний		
Комбінований		

1	2	3
Багаторядний		
З вирізкою перетинки		

Маловідхідний (безвідхідний) розкрій застосовується для виготовлення деталей, що допускають невеликі дефекти контуру.

3.3 Розкрій листового матеріалу при вирубці круглих заготовок

Вирубку круглих заготовок діаметром вище 150 мм роблять в один ряд (пов'язано з розмірами робочої зони пресу). Заготовки з меншими розмірами можна вирубувати у два і більше ряди.

На практиці застосовують паралельне або шахове розташування заготовок.

Паралельне розташування заготовок

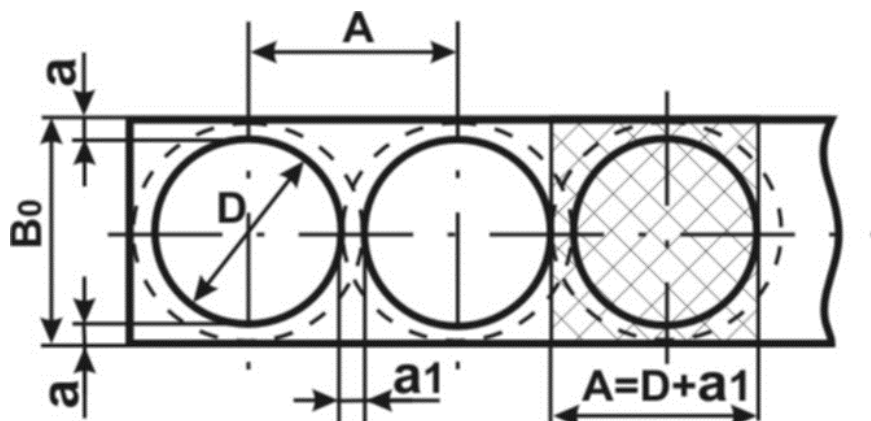


Рисунок 3.1 – Схема паралельного розташування заготовок

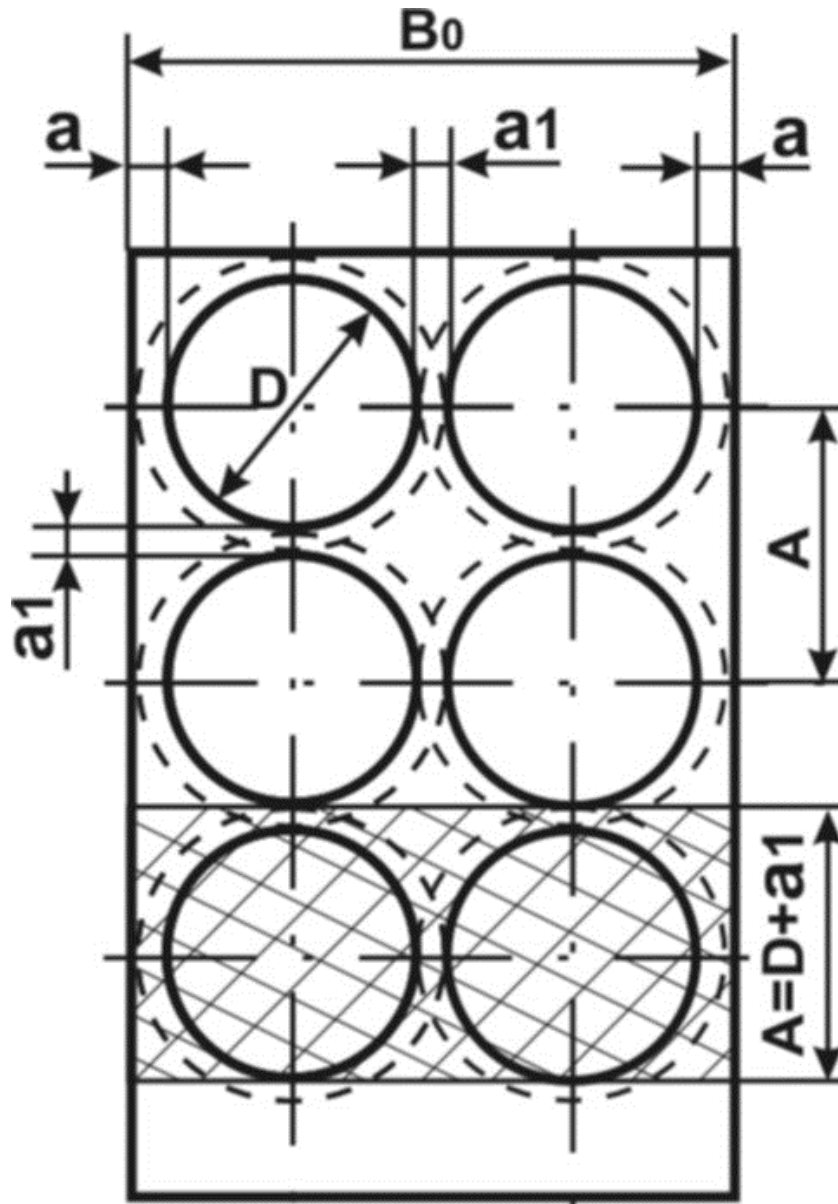


Рисунок 3.1, лист 2

При однорядному розташуванні:

$$KBM = \frac{0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot (D + 2 \cdot a)} \cdot 100\% . \quad (3.3)$$

При дворядному розташуванні:

$$KBM = \frac{2 \cdot 0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot (2 \cdot D + 2 \cdot a + a_1)} \cdot 100\% . \quad (3.4)$$

При *n*-рядному розташуванні:

$$KBM = \frac{n \cdot 0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot (n \cdot D + 2 \cdot a + (n - 1) \cdot a_1)} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де *a* – величина перетинки від краю штаби, мм;

*a*₁ – величина перетинки між заготовками, мм;

D – діаметр заготовки, мм;

n – кількість рядів.

Вважається, що кожний доданий ряд при паралельному розташуванні дає економію в 3...5 %.

Шахове розташування заготовок

При шаховому розкрої зі збільшенням кількості рядів економія матеріалу виходить за рахунок зближення рядів.

При дворядному розташуванні:

$$KBM = \frac{2 \cdot 0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot [(D + 2 \cdot a) + (D + a_1) \cdot \cos \alpha]} \cdot 100\% . \quad (3.6)$$

При трирядному розташуванні:

$$KBM = \frac{3 \cdot 0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot [(D + 2 \cdot a) + 2 \cdot (D + a_1) \cdot \cos \alpha]} \cdot 100\% . \quad (3.7)$$

При *n*-рядному розташуванні:

$$KBM = \frac{n \cdot 0,785 \cdot D^2}{(D + a_1) \cdot [(D + 2 \cdot a) + (n - 1) \cdot (D + a_1) \cdot \cos \alpha]} \cdot 100\% . \quad (3.8)$$

Вважається, що кожний доданий ряд при шаховому розташуванні дає економію в 4,5...8 %.

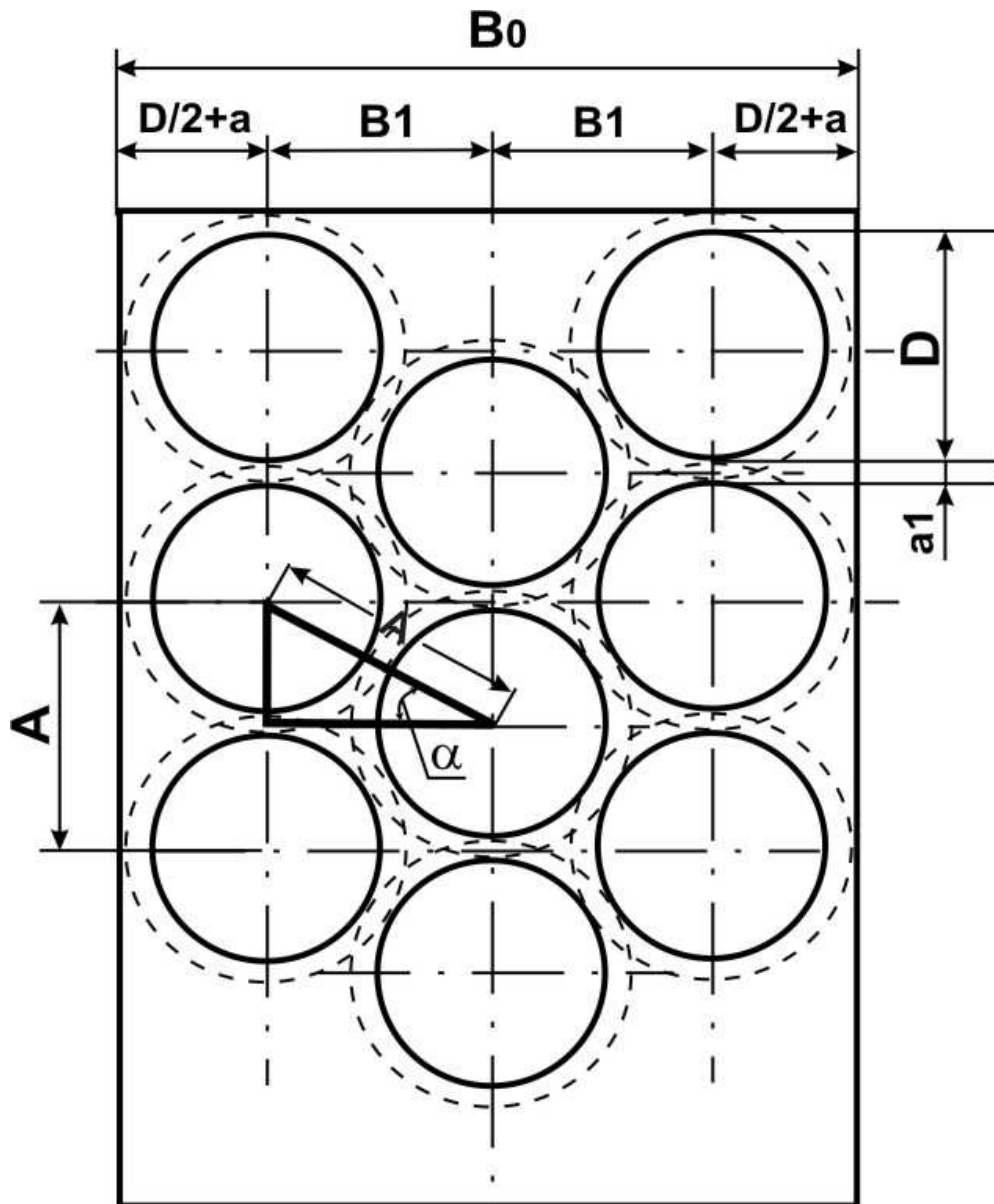


Рисунок 3.2 – Схема шахового розташування заготовок

3.4 Розкрій листового матеріалу при вирубці прямокутних і фігурних заготовок

Розкрій прямокутних заготовок, як правило, не викликає особливих ускладнень.

При вирубці фігурних заготовок особливо складно, а іноді і не можливо, аналітичним шляхом встановити раціональну витрату, тому найбільш вигідну схему визначають графічно, застосовуючи різні способи розкрою.

Визначимо кількість штаб, що одержуються з листа:

$$n_p = \frac{L_1}{B_0} = \frac{L - m_1}{D + 2 \cdot a}. \quad (3.10)$$

Визначимо загальну кількість деталей, що одержуються з листа:

$$n_L = n_D \cdot n_p = \frac{B - a_1 - c_1}{D + a_1} \cdot \frac{L - m_1}{D + 2 \cdot a}. \quad (3.11)$$

Визначимо KBM при поперечному розкрої листа:

$$KBM = \frac{n_L \cdot F_0}{L \cdot B} \cdot 100\% = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot (B - a_1 - c_1) \cdot (L - m_1)}{L \cdot B \cdot (D + a_1) \cdot (D + 2 \cdot a)} \cdot 100\%. \quad (3.12)$$

Повздовжній розкрій листа

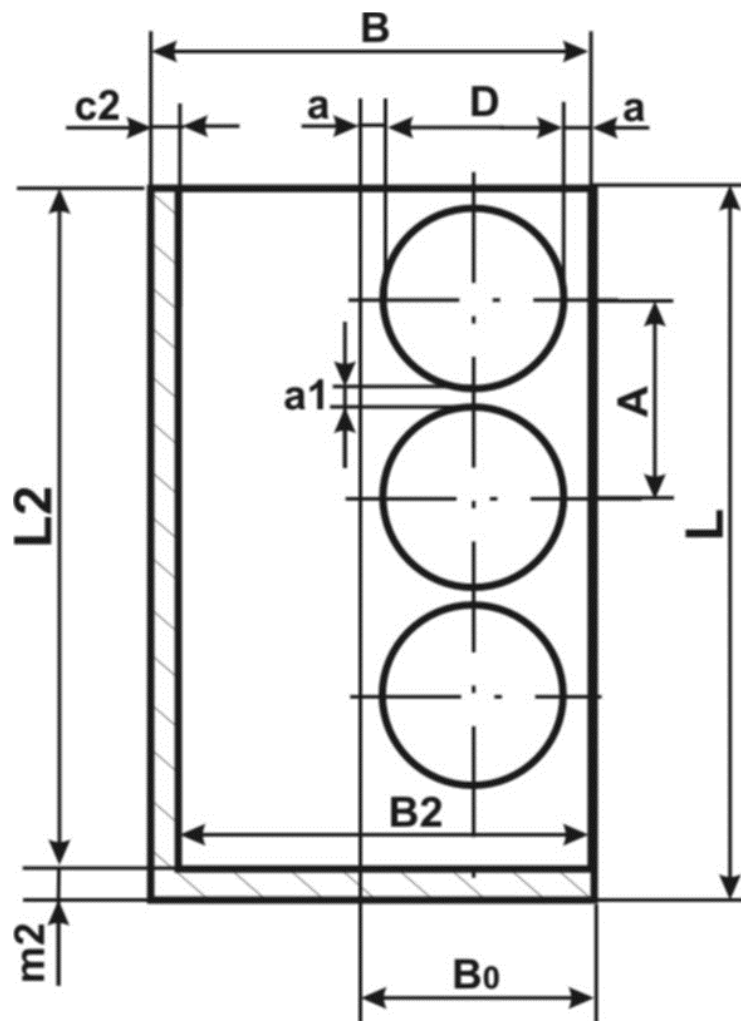


Рисунок 3.4 – Схема повздовжнього розкрою листа

Нехай B_2 – ширина листа без відходу c_2 .

L_2 – довжина листа без відходу m_2 .

Визначимо кількість деталей, що одержуються зі штаби:

$$n_D = \frac{L_2 - a_1}{A} = \frac{L - a_1 - m_2}{D + a_1}. \quad (3.13)$$

Визначимо кількість штаб, що одержуються з листа:

$$n_P = \frac{B_2}{B_0} = \frac{B - c_2}{D + 2 \cdot a}. \quad (3.14)$$

Визначимо загальна кількість деталей, що одержуються з листа:

$$n_L = n_D \cdot n_P = \frac{L - a_1 - m_2}{D + a_1} \cdot \frac{B - c_2}{D + 2 \cdot a}. \quad (3.15)$$

Визначимо KBM при повздовжньому розкрої листа:

$$KBM = \frac{n_L \cdot F_d}{L \cdot B} \cdot 100\% = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot (L - a_1 - m_2) \cdot (B - c_2)}{L \cdot B \cdot (D + a_1) \cdot (D + 2 \cdot a)} \cdot 100\%. \quad (3.16)$$

Іноді використовують косий або груповий спосіб при розкрої великих заготовок, що підвищує KBM приблизно на 15 %.

3.6 Визначення величини перемички і ширини штаби

Величина перемички впливає на процес вирубки і якість виробу.

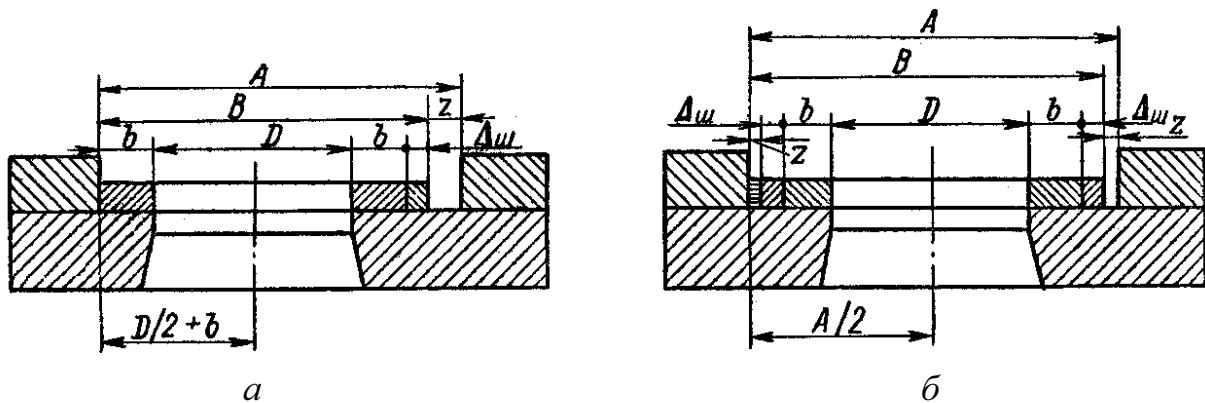
Основне призначення перемички – компенсувати похибки подачі матеріалу і фіксувати його в штампі для того, щоб запобігти браку. Перемичка повинна бути досить міцна і жорстка, інакше штаба може порватися і втягтися в штамп або утворити задирку.

Величина перемички залежить від:

- товщини матеріалу;
- механічних властивостей матеріалу;
- конфігурації деталі;
- типу розкрою;
- способу подачі штаби (з бічним притискачем або без);
- типу упору (нерухомий, рухливий).

Найменше значення перемичок приводиться в таблицях.

Підрахунок номінальної ширини штаби виконується з умови мінімально необхідної перемички при різних способах подачі і допусках за шириною штаби.



а) штампування з бічним притискачем;

б) штампування без бічного притискача

Рисунок 3.4 – Схема підрахунку номінальної ширини штаби

Таблиця 3.2 – Підрахунок номінальної ширини штаби

Спосіб подачі	Номінальна ширина штаби (В)	Просвіт між напрямними (А)
З бічним притискачем	$B = D + 2 \cdot b + \Delta_{ш}$	$A = B + Z = D + 2 \cdot b + \Delta_{ш} + Z$
Без бічного притискача	$B = D + 2 \cdot (b + \Delta_{ш}) + Z$	$A = B + Z = D + 2 \cdot (b + \Delta_{ш} + Z)$

Де B - номінальна ширина штаби;

A - просвіт між напрямними;

D - розмір деталі, що вирізається;

b - найменша величина бічної перемички;

Z - гарантований зазор між напрямними і найбільшою можливою шириною штаби;

$\Delta_{ш}$ - однобічний (мінусовий) допуск на ширину штаби.

Основні правила підрахунку ширини штаби:

- ширина штаби залежить від допуску, включаючи його у вигляді збільшення до ширини штаби.
- при штампуванні з бічним притискачем ширина штаби не залежить від гарантованого зазору, що дозволяє застосовувати штаби менш точні за шириною.
- при штампуванні без бічного притискача ширина штаби залежить від гарантованого зазору, що повинен бути взятий у можливо менших межах, інакше може відбутися вихід контуру вирізки за край штаби.

РОЗДІЛ 4

РОЗДІЛОВІ ОПЕРАЦІЇ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

4.1 Сутність і механізм розділових операцій

Це найпоширеніші операції, які супроводжують метал починаючи від поставки листового матеріалу до остаточних операцій.

У цей час розділовим операціям піддають метал і сплави з різною товщиною від 0,02 до 40 мм і вище. Різання тонколистових сталей від 0,05 мм являє собою проблему, як і різання дуже товстих листів.

Розділові операції поділяють на:

- розкрійні;
- заготівельні;
- технологічні;
- обробні.

Основною вимогою до розділових операцій є забезпечення необхідної точності, якості поверхні зрізу і найменша задирка.

При розділових операціях метал проходить три стадії: пружну, пластичну і руйнування.

З метою зменшення спотворень заготовки, викликаних пластичною деформацією, прагнуть максимально локалізувати осередок деформації. Цього досягають зменшенням зазору між ріжучими робочими кромками інструмента та зменшенням радіусів кромки.

Відповідно до принципу Сен-Венана про локальність ефекту зовнішніх навантажень, що самоврівноважуються, нерівномірність розподілу напружень, викликана дією зосереджених сил, швидко убуває (загасає) у міру видалення від точки їхнього прикладення. При розділових операціях у міру видалення від ріжучих кромки у товщину заготовки, нерівномірність розподілу напружень зменшується, а довжина зони пластичних деформацій у напрямках перпендикулярних до напрямку дії зовнішніх сил різання, збільшується.

Механізм руйнування

При зсуві однієї частини заготовки відносно іншої в результаті дії моменту від сил P заготовка прагне повернутися. На бічних поверхнях

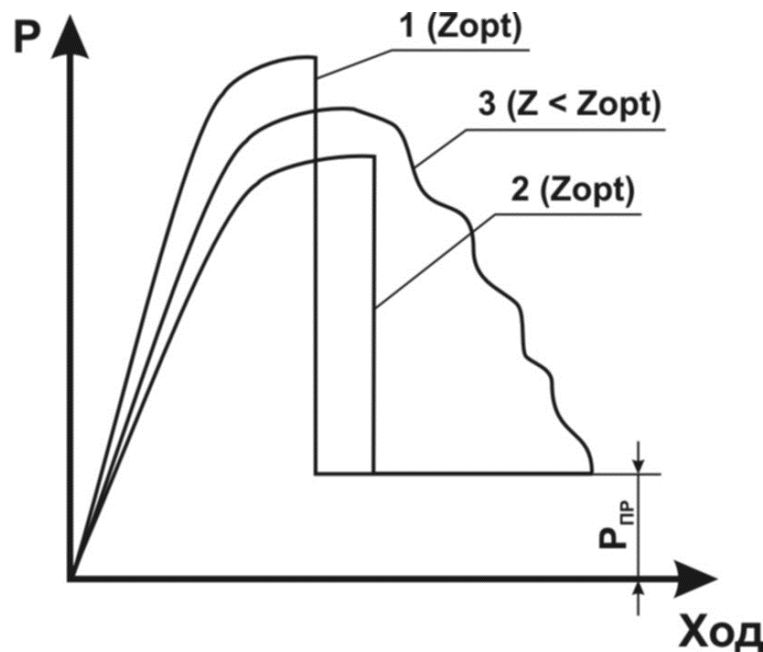
частин металу, що зміщуються, виникає горизонтальна сила T , що притискає заготовку до бічних поверхонь інструмента. Ці сили при зсуві різального інструменту відносно заготовки згладжують поверхню зрізу і утворюють так званий блискучий пояс на поверхні зрізу.

Як тільки досягається гранична величина деформації в шарах заготовки, розташованих поблизу ріжучих кромek, шари починають руйнуватися, утворюючи тріщини, які швидко проникають у товщину металу.

Завдяки дії сил P и T , які розклинають, тріщина що утворюється розвертається до вільної поверхні. З'єднання цих тріщин у розділових операціях без зняття стружки завершує процес відділення однієї частини заготовки від іншої.

Дослідним шляхом встановлено, що $\beta = 4...6^\circ$ і зменшується зі збільшенням міцнісних властивостей. В той же час заглиблення пуансона до появи тріщини $h = (0,1 \dots 0,5) \cdot S$ і збільшується зі збільшенням пластичності матеріалу (зі зменшенням характеристик міцності).

Таким чином, мінімальний зазор, що забезпечує збіг тріщин називається *оптимальним зазором*.



1 – малопластичний матеріал; 2, 3 – пластичний матеріал;
 $P_{пр}$ – зусилля прошивування заготовки крізь матрицю

Рисунок 4.1 – Залежність зусилля від величини зазору

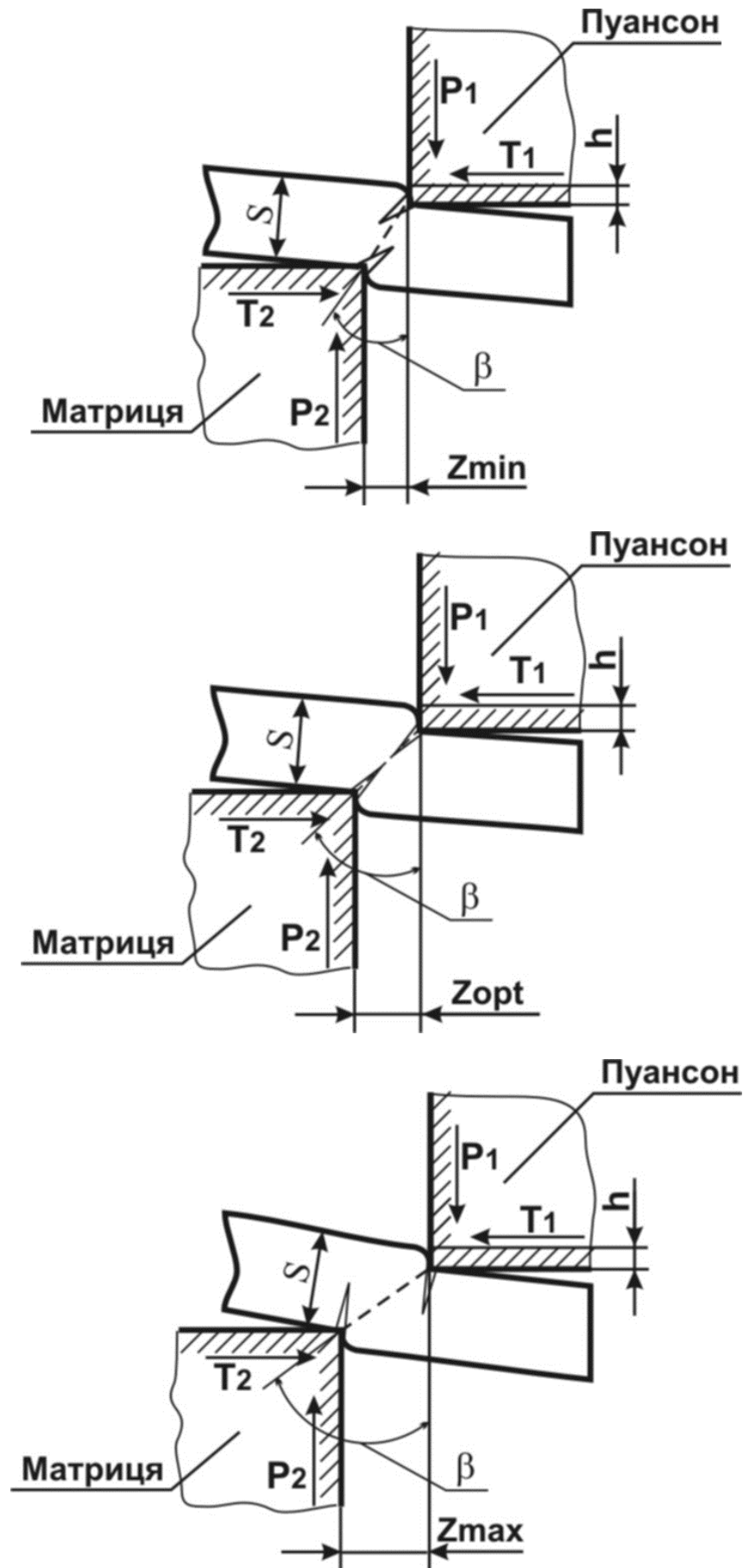


Рисунок 4.2 – Схема руйнування матеріалу при різних зазорах між інструментом

При зменшенні зазору в порівнянні з оптимальним тріщини не зустрічаються, поверхня виходить рваною.

При збільшенні зазору в порівнянні з оптимальним тріщини можуть злитися, але при цьому зростає нахил поверхні зрізу до вісі, а також збільшується спотворення, викликане дією моменту сил.

При зазорі меншому ніж оптимальний зусилля деформування незначно збільшується, але робота деформування істотно зростає.

4.2 Різання ножицями з паралельними ножами

Ці ножиці для різання порівняно вузьких і тонких штаб. Кут різання 90° . Заготовка поміщується між ножами.

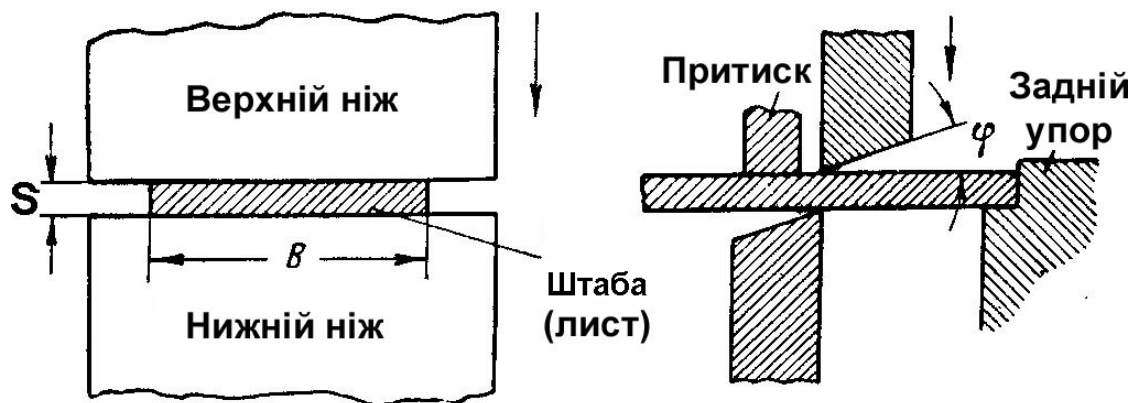


Рисунок 4.3 – Схема різання ножицями з паралельними ножами

Якщо розглянути площину зрізу листа, то можна виявити 4 зони.

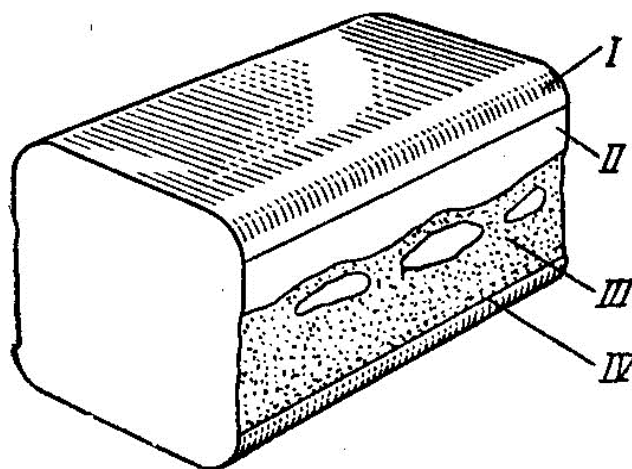


Рисунок 4.4 – Площина зрізу листа ножицями

I - зона закруглення – зминання поверхні матеріалу внаслідок вигину з розтяганням під дією зусилля, прикладеного до ножа.

II – зона різки (зріз, зсув) – початок руйнування матеріалу внаслідок різкої концентрації напружень у міру заглиблення ріжучої кромки ножа в матеріал.

III – зона сколювання – повне руйнування матеріалу, що випереджає заглиблення ріжучої кромки внаслідок утворення та з'єднання так званих тріщин сколювання.

IV – зона зминання – зминання поверхні матеріалу від нижнього ножа.

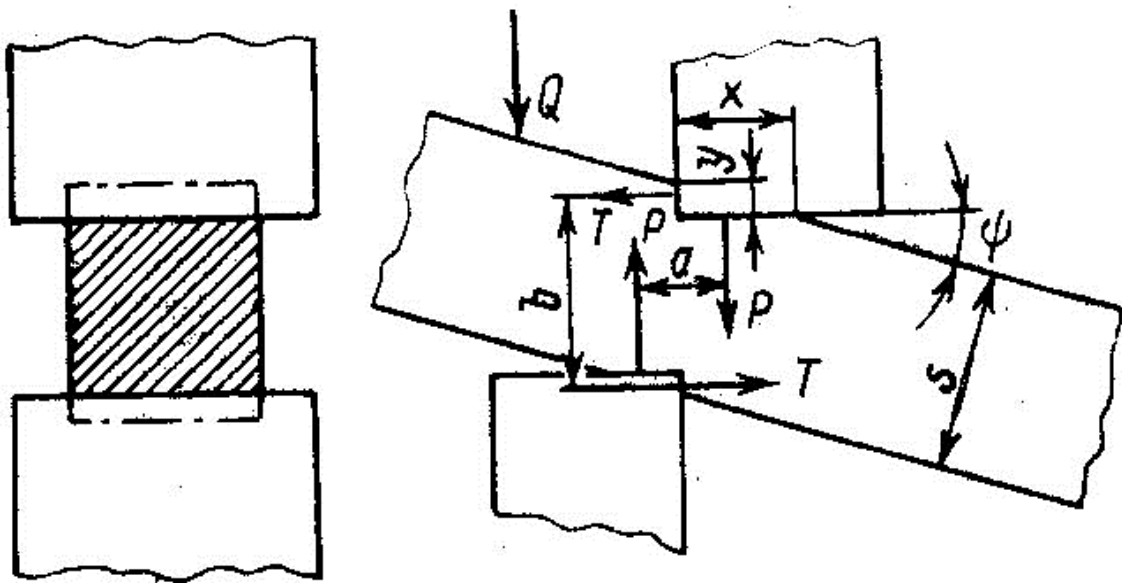


Рисунок 4.5 – Схема дії сил

Де P – рівнодіюча тиску ножа;

$P \cdot a$ – перекидаючий момент;

T – рівнодіюча бічного тиску на ніж.

Умова рівноваги (припинення розвороту):

$$P \cdot a = T \cdot b. \quad (4.1)$$

Для запобігання матеріалу від перекидання передбачається притиск із зусиллям Q .

Бічний тиск на ніж:

$$T = b \cdot \psi, \quad (4.2)$$

де ψ - кут повороту матеріалу, що розрізається, ($\psi = 10 \dots 20^\circ$), а при різанні із притискачем $5 \dots 15^\circ$.

Відповідно до цих значень:

$$T = (0,10 \dots 0,18) \cdot P, \quad (4.3)$$

де P – зусилля різання.

Зусилля і робота різання

Зусилля різання визначають за залежністю:

$$P_{PI3} = F \cdot \sigma_{CP} = B \cdot S \cdot \sigma_{CP}, [H], \quad (4.4)$$

де F – площа зрізу, мм^2 ;

B – ширина листа, мм ;

S – товщина листа, мм ;

σ_{CP} – опір зрізу, МПа .

У реальних умовах ножі тупляться, товщина листа коливається, устаткування зношується, тому:

$$P = k \cdot P_{PI3} = (1,0 \dots 1,3) \cdot B \cdot S \cdot \sigma_{CP}, [H]. \quad (4.5)$$

Робота, що затрачена при різанні:

$$A = \frac{P_{CP} \cdot S}{1000}, [\text{Дж}], \quad (4.6)$$

де P_{CP} – середнє зусилля різання, Н .

$$A = \frac{\lambda \cdot P_{MAX} \cdot S}{1000}, [\text{Дж}], \quad (4.7)$$

де λ – коефіцієнт, $\lambda = \frac{P_{CP}}{P_{MAX}}$.

Залежно від товщини і твердості матеріалу λ змінюється від 0,30 до 0,75.

Знаючи роботу, що потрібна для різання, можна визначити потужність ножиців і електроприводу.

4.3 Різання листового матеріалу в штампах

Процес різання штампами аналогічний процесу різання ножицями. У цьому випадку пуансон і матриця є як би ножами замкнутої конфігурації, що мають сполучені ріжучі кромки. Однак процеси різання мають істотні відмінності.

Процес різання штампами також складається із трьох стадій: пружної, пластичної і руйнування (сколювання).

На першій стадії відбувається пружний вигин металу з легким видавлюванням його в отвір матриці. При цьому напруження в металі не перевершують межі пружності.

На пластичній стадії відбувається вдавлювання пуансона в метал і видавлювання його в отвір матриці.

Вдавлювання вирубного пуансона відбувається не за всією торцевою поверхнею, а лише за кільцевим (або іншої форми в плані) пояском шириною b . Таке ж вдавлювання спостерігається і з боку матриці. Відбитки від локалізованого вдавлювання пуансона і матриці залишаються на вирубаній деталі і відході у вигляді зім'ятої смужки уздовж контуру різання.

У результаті локалізованого вдавлювання пуансона і матриці виникає круговий згинаючий момент, утворений силами різання, умовно представленими рівнодіючими нормальних напружень (рис. 4.6, схема I і II).

Під дією кругового згинаючого моменту заготовка одержує просторовий вигин, при якому із зовнішньої сторони заготовки (в порожнині матриці) виникає напружений стан двовісьового розтягання, а на внутрішній стороні (під пуансоном) - двовісьового стискання.

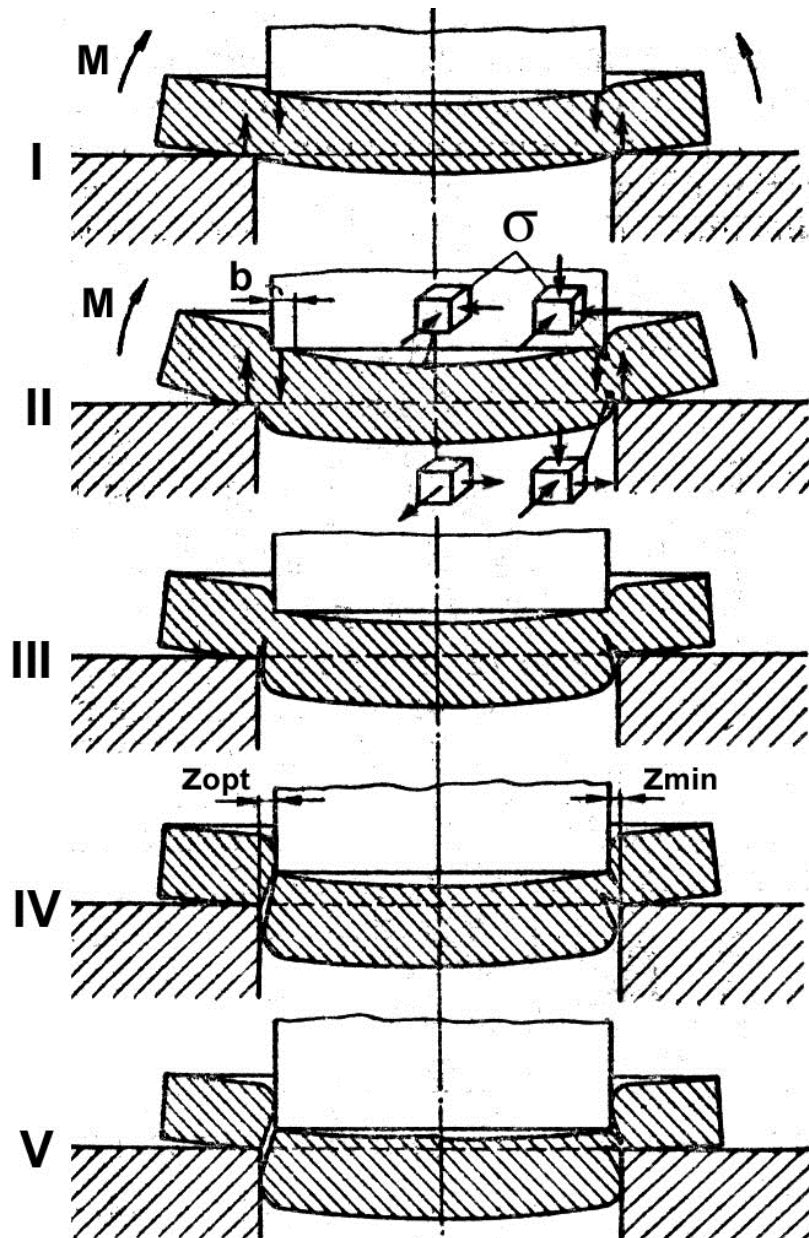


Рисунок 4.6 – Схема процесу різання штампами

Безпосередньо під ріжучою кромкою пуансона створюється напружений стан об'ємного стискання, а над ріжучою кромкою матриці - напружений стан з напруженнями радіального розтягання. Перший стан більш сприятливий для пластичного плину металу, а другий - менш сприятливий і сприяє виникненню мікротріщин у зоні різання.

До кінця другої стадії напруження поблизу ріжучих кромek досягають максимальної величини, що відповідає опору металу зрізу.

На третій стадії процесу вирубкi біля ріжучих кромek матриці утворюються тріщини, що сколюють (схема III). Після подальшого заглиблення пуансона і вичерпання місцевої пластичності металу тріщини,

що сколюють, виникають і біля ріжучих кромок пуансона (схема IV і V). Ця послідовність сколювання підтверджується тим, що блискучий поясок, що відповідає пластичній стадії різання, на відході значно ширше, ніж на деталі.

Тріщини, що сколюють спрямовані по лініях найбільших деформацій зсуву (поверхням ковзання) і швидко поширюються на внутрішні шари металу і викликають відділення деталі.

Під час першої і другої стадій вирубки швидкість заглиблення пуансона зменшується; а з початку третьої стадії – різко збільшується. При подальшому русі пуансон проштовхує вирізану деталь через робочу шийку матриці.

При нормальному зазорі між пуансоном і матрицею поверхні зсуву (лінії ковзання), що виникають біля ріжучих кромок пуансона, збігаються з поверхнями зрушення і тріщинами, що виникли біля ріжучих кромок матриці і утворюють загальну криволінійну поверхню сколювання.

При малому зазорі і великій товщині матеріалу поверхні зсуву, що йдуть від кромок пуансона, не збігаються з поверхнями зсуву, що виникли біля кромок матриці. Кільцева перемичка, що залишилася, перерізується при подальшому заглибленні пуансона з виникненням нових тріщин, причому на деталі утворюється надрив і подвійний зріз з задиркою. Поверхня отвору виходить порівняно гладкою, лише в нижній частині утворюється невеликий шорсткуватий відкол. Тому, якщо потрібно одержати отвір з гладкими рівними стінками, варто робити пробивання з малим зазором. При вирубці з малим зазором твердих матеріалів подвійного зрізу не виходить.

У випадку дуже великого зазору на поверхні утворюються рвані задирки від зтягування і обриву металу в зазорі.

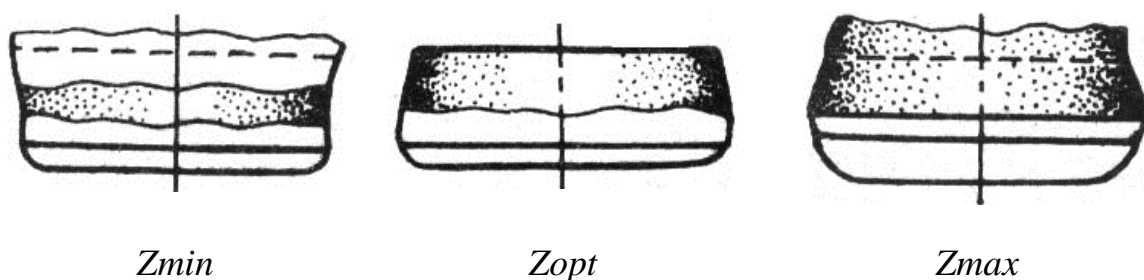


Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд поверхні зрізу при різних зазорах

4.4 Опір зрізу при вирубці і пробиванні

У процесі вирубки-пробивання листового металу виникає складне неоднорідне силове поле, сконцентроване поблизу ріжучих кромek пуансона і матриці.

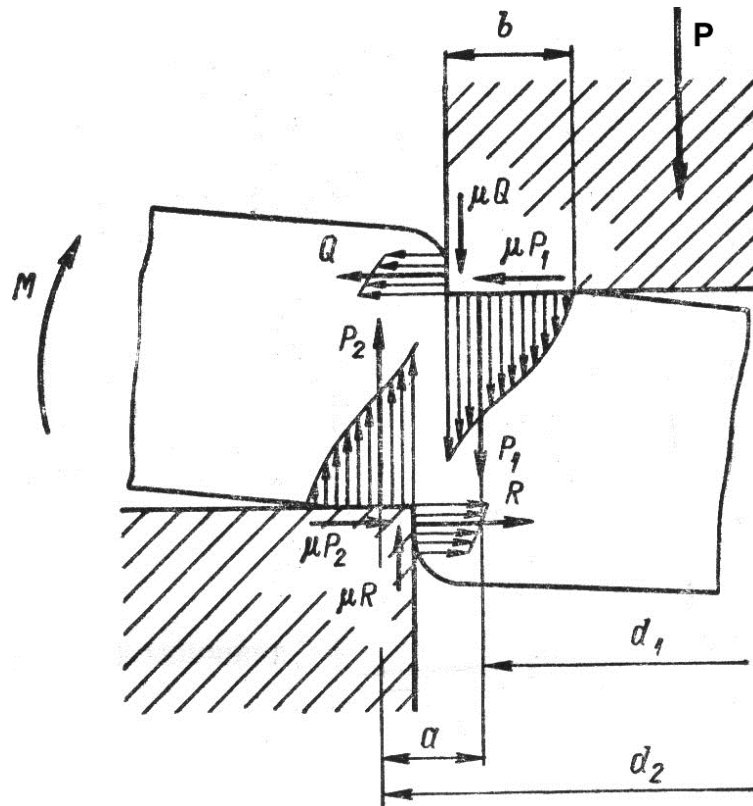


Рисунок 4.8 – Схема сил, що діють на заготовку при вирубці без притиску

Де P_1 і P_2 – рівнодіючих сил, що діють на пасок з боку пуансона і матриці.

a – плече сил P_1 і P_2 .

b – ширина кільцевого пояса контакту.

Q , R – реактивні нормальні зусилля, що виникають від тиску заготовки на кромки пуансона і матриці.

μP_1 , μP_2 , μQ , μR – дотичні зусилля.

Через складність і неоднорідність силового поля при вирубці-пробиванні в технологічних розрахунках застосовується умовна технологічна величина - опір зрізу:

$$\sigma_{CP} = \frac{P_{MAX}}{L \cdot S}, \quad S_{CP}^{ICT} = \frac{P}{L \cdot (S - h_{II})}, \quad (4.8)$$

де σ_{CP} - умовний опір зрізу, МПа;

S_{CP}^{ICT} – істинний опір зрізу, МПа;

L – периметр зрізу, мм;

S – товщина матеріалу, мм;

h_{II} – величина заглиблення (вдавлювання) пуансона в матеріал до моменту утворення тріщин, що сколюють (залежить від зазору і швидкості вирубки), мм.

4.5 Визначення зусилля і роботи вирубки-пробивання

Зусилля:

$$P_{PI3} = \sigma_{CP} \cdot F = L \cdot S \cdot \sigma_{CP}, [\text{H}], \quad (4.9)$$

де L – довжина периметра вирубки, мм;

S – товщина матеріалу, мм.

У виробничих умовах товщина листа коливається, кромки інструмента затуплюються, прес зношується, тоді зусилля може збільшитися на 30 %.

$$P = (1,1 \dots 1,3) \cdot P_{PI3}, [\text{H}]. \quad (4.10)$$

Робота:

$$A = \frac{P_{CP} \cdot S}{1000}, [\text{Дж}], \quad (4.11)$$

де P_{CP} – середнє зусилля, розраховується як у випадку різання на ножицях, Н.

При виборі преса необхідно враховувати не тільки зусилля, але й роботу.

Повне зусилля включає також зусилля буферів для притиску, виштовхування і знімання:

$$P_{ПОВН} = P_{PI3} + P_{БУФ}. \quad (4.12)$$

4.6 Точність штампування при вирубці-пробиванні

На точність штампування впливають наступні фактори:

- 1 Рід матеріалу.
- 2 Стан матеріалу (нормальний, відпалений, наклепаний).
- 3 Технологія одержання листового прокату (гаряча, холодна; напружено-деформований стан – вузькі, широкі штаби; напрямок прокатки – анізотропія металу).
- 4 Конфігурація і розміри деталей, що штампуються.
- 5 Технологічний процес штампування (роздільний, сполучений).
- 6 Конструкція штампа (із притиском матеріалу або без нього; з напрямними колонками або без них).
- 7 Зазор і рівномірність його розподілу за контуром.
- 8 Форма і нахил прохідного отвору матриці.
- 9 Вихідний стан штампа і його стійкість.
- 10 Конструкція і стан преса (жорсткість, зношеність).
- 11 Умови роботи і точність установки заготовок у штамп.

Ніж м'якше матеріал, тим менше абсолютне значення відхилень розмірів деталі від розмірів штампа.

Зі збільшенням S/D максимальне значення відхилень зменшується.

Ніж простіше форма деталі і менше розміри, тим якісніше деталі. Однак дуже дрібні і дуже великі деталі виходять неточними.

Матриця із циліндричним пояском сприяє підвищенню якості виробів.

4.7 Вирізка еластичним середовищем

Звичайні методи штампування, які широко застосовуються в багатосерійному і масовому виробництві, недостатньо ефективні і нерациональні в умовах дрібносерійного виробництва, тому що для виготовлення конструктивно складних і дорогих штампів потрібний тривалий час, а зроблені витрати не окупаються.

Необхідність швидкого освоєння нових видів виробів вимагає застосування в зазначених умовах нових технологічних процесів з використанням дешевого універсального або частково універсального оснащення. До таких процесів можливо віднести безматричні способи вирубки і пробивання: вирізка гумою і поліуретаном; вирізка пластичними металами; безматричне пробивання. При цьому значно спрощується конструкція інструмента і знижується ціна його виготовлення, тому що при застосуванні двох перших способів потрібний лише один вирізний шаблон, а в останньому способі – тільки пробивні пуансони. Відпадає необхідність виготовлення і пригонки вирізних матриць, роль яких виконує гума або поліуретан.

РОЗДІЛ 5

ФОРМОЗМІННІ ОПЕРАЦІЇ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

5.1 Гнуття листового матеріалу

5.1.1 Загальні положення. Механізм гнуття

Гнуття – це технологічна операція, в результаті якої з плоскої заготовки отримують просторову вигнуту деталь.

Гнуття одна з розповсюджених операцій, часто застосовується разом з іншими операціями. Гнуття виконується в штампах на спеціальних машинах або пресах.

Розрізняють:

- однокутове гнуття;
- двокутове гнуття;
- чотирикутове гнуття;
- гнуття за криволінійною утворюючою.

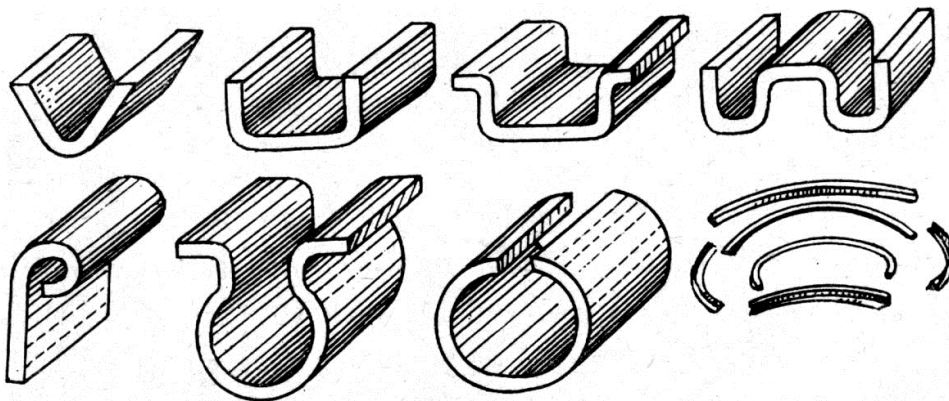


Рисунок 5.1 – Види деталей

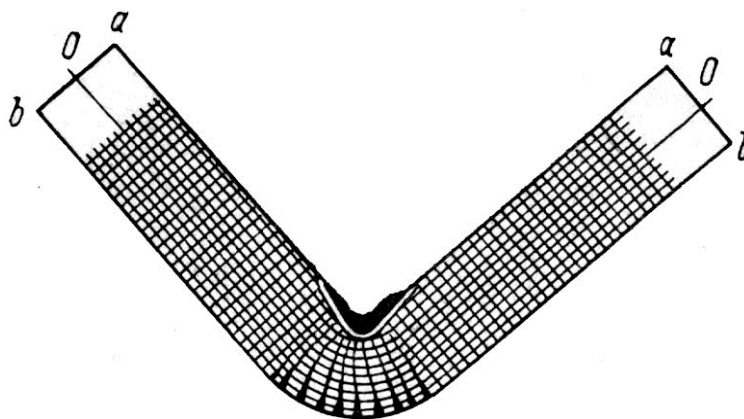


Рисунок 5.2 – Деформація металу при вигині (00 – нейтральний шар)

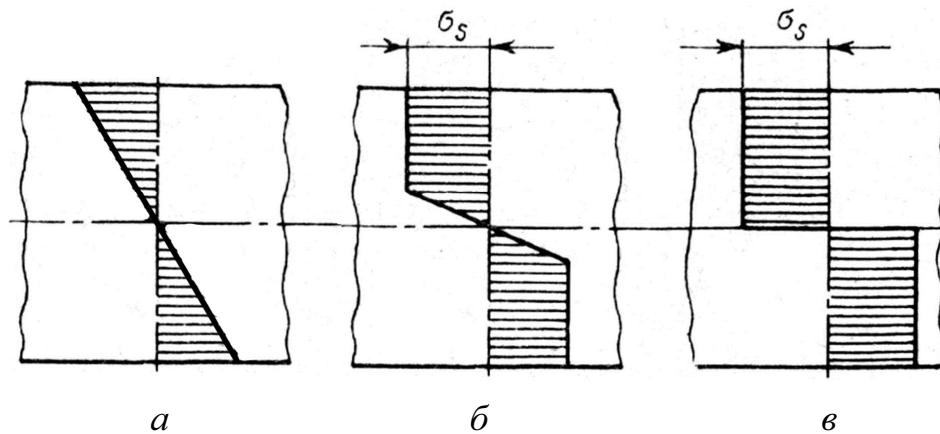
Для вузької штаби ($b < 3 \cdot S$) $\sigma_z \approx 0$, для широкої – ($b \geq 3 \cdot S$) $\varepsilon_z \approx 0$.

Таким чином, при гнутті вузьких штаб з достатньою товщиною матеріалу має місце плоский напружений стан і об'ємний деформований стан, а при гнутті широких штаб – об'ємний напружений і плоский деформований стан.

Часто при гнутті для оформлення чіткого кута роблять удар, що чеканить, наприкінці процесу. У цьому випадку напружений стан змінюється – у всіх місцях під пуансоном виникає нерівномірне всебічне стискання.

Залежно від характеру деформації на різних стадіях процесу за товщиною заготовки, що згинається, розрізняють: пружний; пружно-пластичний; пластичний згин.

Два останні можуть бути зі зміцненням металу і без зміцнення. Гнуття завжди супроводжується спочатку пружними, а потім пластичними деформаціями.



а – пружний згин; б – пружно-пластичний; в – пластичний згин

Рисунок 5.3 – Види згину

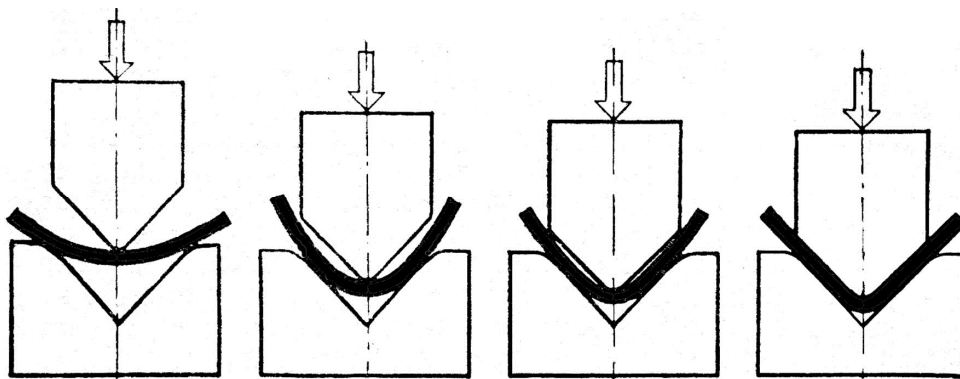


Рисунок 5.4 – Послідовність і механізм кутового гнуття

5.1.2 Визначення розмірів плоскої заготовки при гнутті

Визначення розмірів плоскої заготовки при гнутті засновано на рівності довжини заготовки довжині нейтрального шару.

Розрізняють два основних способи визначення розмірів заготовки:

- 1 При гнутті із закругленням по радіусу.
- 2 При гнутті без закруглення.

У першому випадку довжина заготовки дорівнює сумі довжин прямих ділянок і довжин нейтрального шару у вигнутих ділянках.

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + l_{н.ш.1} + l_{н.ш.2} + \dots + l_{н.ш.m}, [\text{мм}]. \quad (5.1)$$

Довжина нейтрального шару у вигнутій ділянці визначається:

$$l_{н.ш.} = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (r + x \cdot S), [\text{мм}], \quad (5.2)$$

при $\varphi = 90^\circ$:

$$l_{н.ш.} = \frac{\pi}{2} \cdot (r + x \cdot S), [\text{мм}], \quad (5.3)$$

де x – коефіцієнт, що визначає положення нейтрального шару;

φ – кут вигнутої ділянки, град.

Кут вигнутої ділянки тільки при $\varphi = 90^\circ$ дорівнює куту гнуття, у всіх інших випадках він становить:

$$\varphi = 180^\circ - \alpha, [\text{град}], \quad (5.4)$$

де α – внутрішній кут гнуття, град.

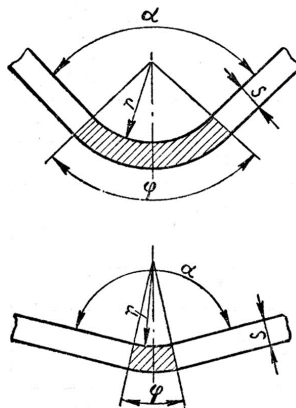


Рисунок 5.5 – Співвідношення між кутом зігнутої ділянки і кутом гнуття

5.2 Витяжка листового матеріалу

Витяжка – це процес перетворення плоскої заготовки в порожню деталь будь-якої форми (або подальша зміна її розмірів).

Виходячи з форми і технологічних особливостей ЛШ порожні деталі можуть бути розділені на кілька основних груп:

- деталі, що мають форму тіл обертання;
- деталі коробчастої форми;
- деталі складної форми.

Всі порожні деталі можуть бути виготовлені із фланцем і без нього.

За характером і ступенем деформації розрізняють витяжку без стоншення стінок і зі стоншенням, а також комбіновану витяжку.

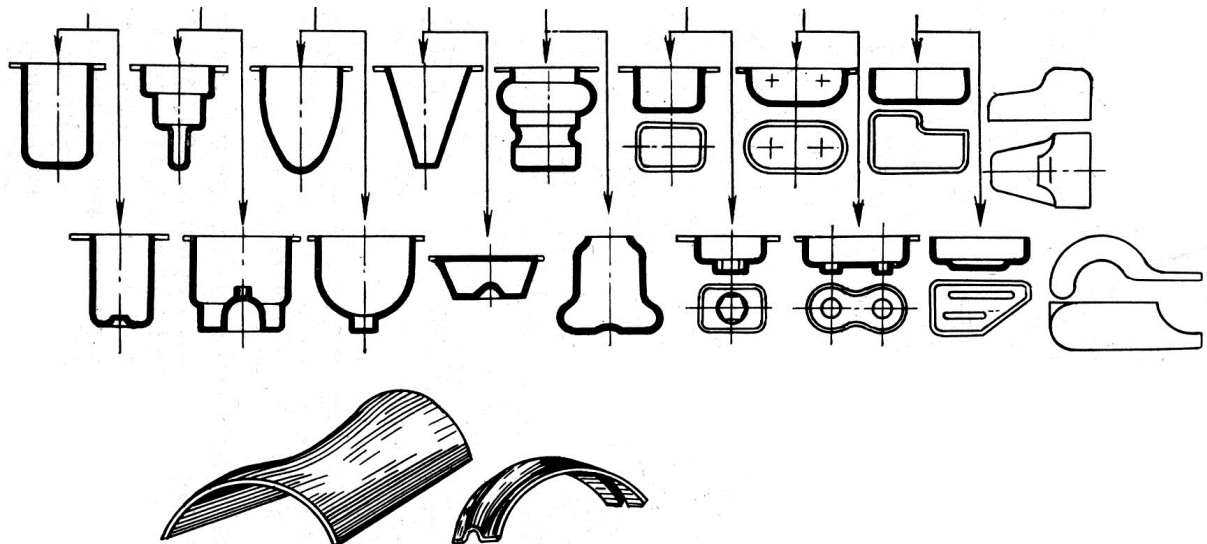


Рисунок 5.6 – Види деталей

Основні способи витяжки:

- без притиску заготовки;
- з притиском заготовки;
- зворотна витяжка (з вивертанням);
- вирубка і витяжка (у комбінованих штампах);
- багатопозиційна витяжка в стрічці;
- витяжка зі стоншенням (перетяжка);
- комбінована витяжка.

Особливі способи витяжки:

- витяжка еластичним пуансоном;
- витяжка еластичною матрицею;
- гідравлічна і гідромеханічна витяжка;
- витяжка свинцевою матрицею;
- витяжка-обтягування на гідропресах;
- підривне штампування;
- електрогідравлічна витяжка;
- магнітноімпульсне штампування.

5.2.1 Витяжка циліндричних деталей без стоншення стінок

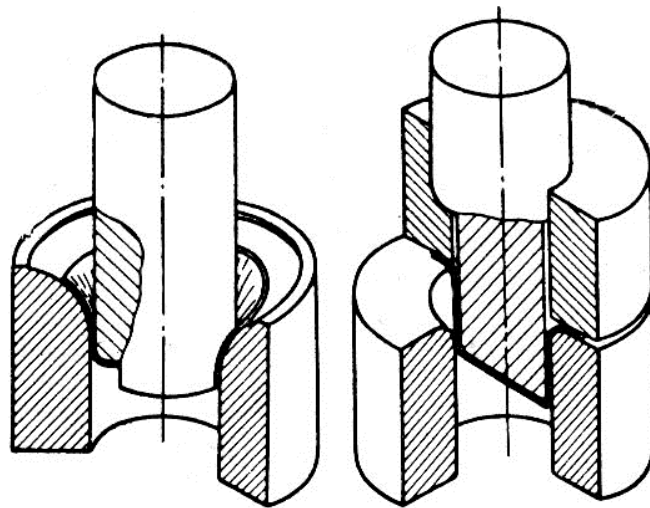


Рисунок 5.7 – Схема процесу витяжки без стоншення стінок

Процес глибокої витяжки із притиском починається не із пластичної деформації фланця заготовки, а з місцевої пластичної деформації кільцевої незатиснутої частини заготовки (а) при затиснутому фланці. Ця стадія здійснюється за рахунок розтягання з стоншення ділянки (а), причому найбільше стоншення виникає на границі цієї ділянки із дном (небезпечний переріз).

В міру занурення пуансона зусилля зростає, а розтягання і стоншення кільцевої ділянки збільшується. До кінця цієї стадії відбувається пластична деформація донної частини.

Після досягнення рівноваги між тягнучим зусиллям і опором фланця деформуванню починається друга стадія витяжки, що полягає у втягуванні фланця в матрицю.

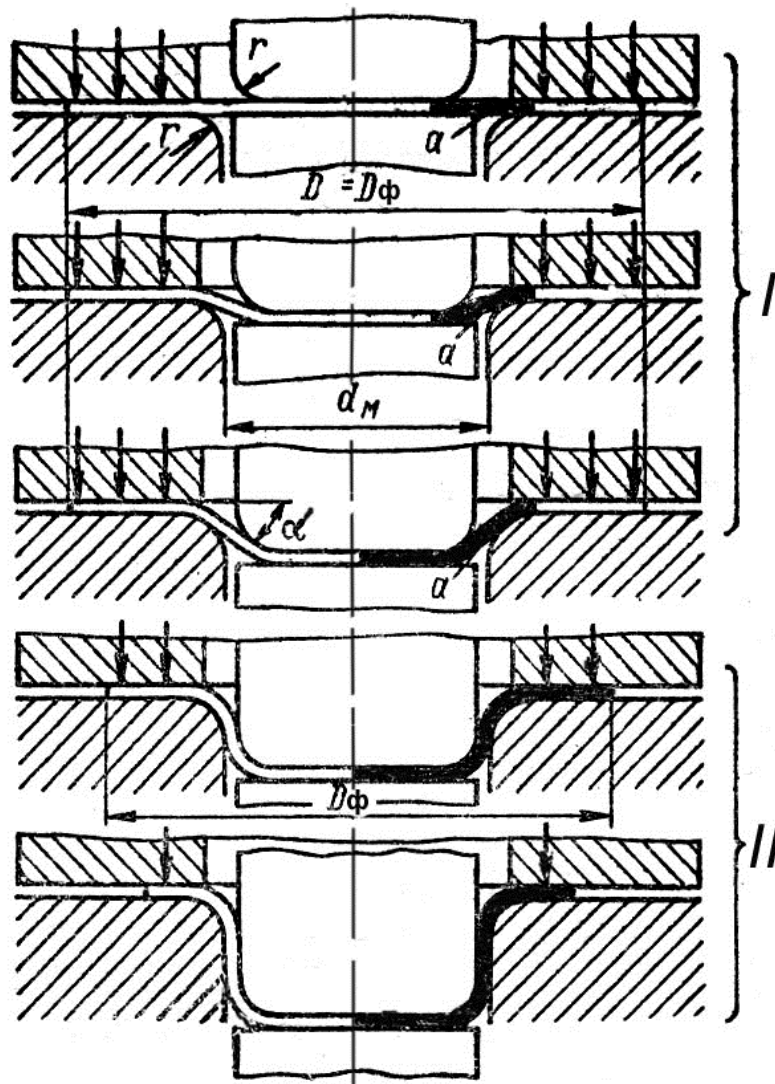


Рисунок 5.8 – Послідовність витяжки

На цій стадії кожний елемент плоскої заготовки змінює свої розміри (подовжується в радіальному напрямку і коротшає в тангенціальному), потім піддається вигину і перетворюється в елемент бічної поверхні деталі.

При витяжці метал доводять до стану плинності, і процес витяжки відбувається з напруженнями, що лежать у зоні $(\sigma_r + \sigma_\tau)$, характерними для пластичного стану.

5.2.2 Коефіцієнт витяжки

Залежно від співвідношення висоти і діаметра деталі, а також від відносної товщини заготовки (S/D) витяжка може бути зроблена за одну або кілька операцій.

Поставлення завдання: за меншу кількість операцій одержати найбільшу глибину витяжки при необхідному діаметрі виробу без проміжних відпалів.

Це означає, що на кожній операції витяжки варто приймати максимально можливий ступінь деформації, що при витяжці звичайно визначають за формулами:

- для n -ої операції:

$$\varepsilon_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} = \frac{\pi \cdot d_{n-1} \cdot S - \pi \cdot d_n \cdot S}{\pi \cdot d_{n-1} \cdot S} = \frac{d_{n-1} - d_n}{d_{n-1}} = 1 - m_n = 1 - \frac{1}{k_n}, \quad (5.5)$$

де ε – ступінь деформації при витяжці;

F – площа поперечного перерізу виробу, що витягається;

D – діаметр плоскої заготовки;

d – діаметр виробу на відповідному переході витяжки;

m – коефіцієнт витяжки;

k – ступінь витяжки (величина, зворотна коефіцієнту витяжки).

Отже,

$$\ln\left(\frac{D}{d}\right) = \ln(k) = -\ln(m);$$
$$k = \frac{D}{d} = \frac{1}{m} > 1;$$
$$m = \frac{d}{D} = \frac{1}{k} < 1. \quad (5.6)$$

Обов'язковою умовою застосування цих коефіцієнтів для різних типорозмірів деталі є геометрична подоба заготовок, виражена відносною товщиною заготовки (S/D). Кожному відношенню S/D відповідають свої m і k .

Дані коефіцієнти для деталей без фланця не можна застосовувати для деталей із фланцем через те, що відрізняється напружено-деформований стан.

Найпоширенішим показником ступеня деформації є коефіцієнт m .

5.2.3 Визначення розмірів плоскої заготовки при витяжці порожнистих тіл обертання

Методи засновані на сталості об'єму і маси заготовки і деталі. Існує 5 методів визначення розмірів плоскої заготовки.

I Аналітичні методи:

- Метод рівності поверхонь.
- Метод рівності об'єму.
- Метод рівності мас.

II Графічні методи:

- Графо-аналітичний метод.
- Графічний метод.

5.2.4 Визначення числа і послідовності операцій при витяжці деталей без фланця

Технологічно розрахунки при витяжці складаються у визначенні припустимого ступеня деформації, знаходженні необхідної кількості операцій витяжки і розрахунку операційних розмірів деталі.

Припустимі ступені деформації знаходять по експериментально встановлених коефіцієнтах витяжки, які зведені в таблицю.

Постановка завдання: необхідно одержати порожній виріб діаметром d_n і висотою h_n .

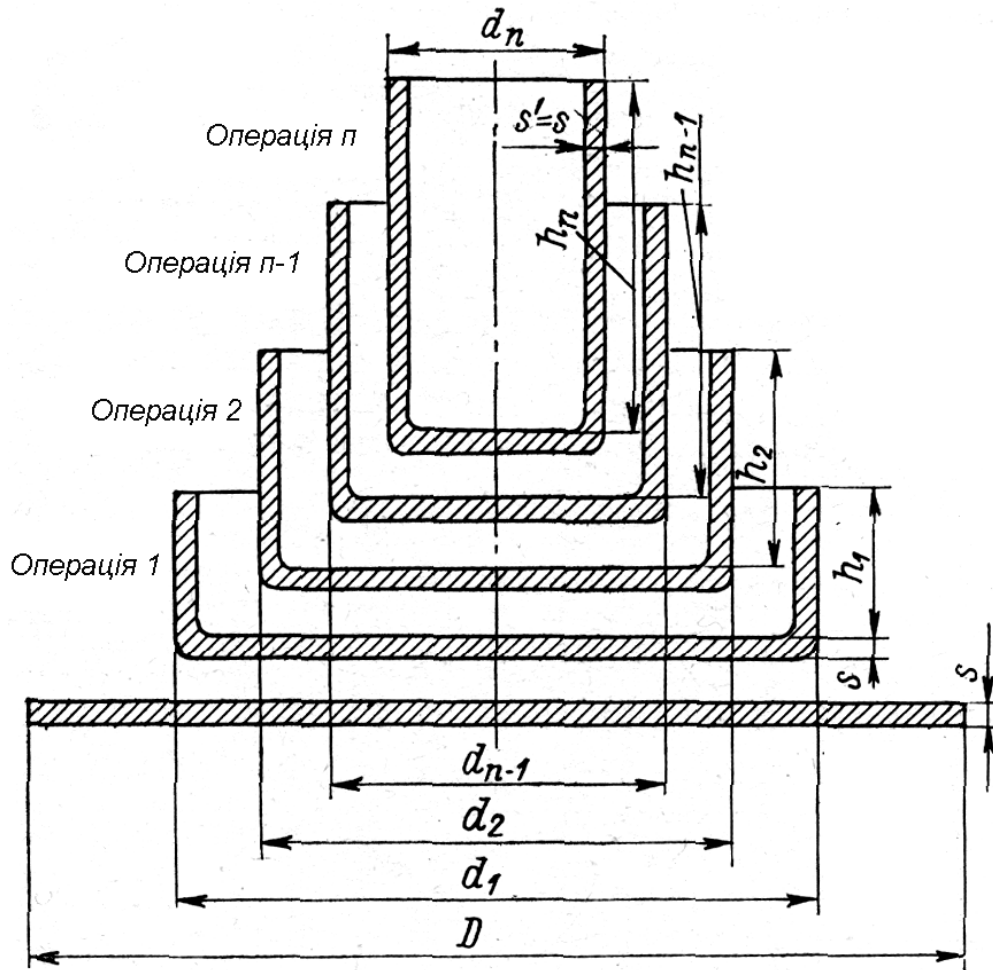


Рисунок 5.9 – Технологічні переходи витяжки без фланця
Так, для першої і наступної операцій витяжки:

$$\begin{array}{ll}
 m_1 = d_1 / D; & d_1 = m_1 \cdot D; \\
 m_2 = d_2 / d_1; & d_2 = m_2 \cdot d_1; \\
 \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\
 m_n = d_n / d_{n-1}. & d_n = m_n \cdot d_{n-1}.
 \end{array}
 \Rightarrow
 \quad (5.7)$$

Або,

$$d_n = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \cdot D. \quad (5.8)$$

При технологічних розрахунках поряд з визначенням кількості і послідовності операцій потрібно розрахувати висоту напівфабрикатів на кожній операції для визначення величини робочого ходу і закритої висоти преса. Формули для розрахунку наведені в довідковій літературі.

У випадку, якщо остання витяжка виходить недовантаженою ($m_n = 0,87...0,99$), необхідно виконати перерозподіл коефіцієнтів витяжки на всіх операціях.

5.2.5 Визначення зусилля, роботи і швидкості при витяжці циліндричних деталей без стоншення стінок

Таблиця 5.1 – Формули для визначення зусилля витяжки

Типи виробів, що витягають	Операції витяжки	Формули
Циліндричні без фланця	Перша Друга і наступні	$P = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k_1$ $P = \pi \cdot d_{2(n)} \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k_2 \quad (5.9)$
Циліндричні із широким фланцем	Перша	$P = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k_{\delta} \quad (5.10)$
Конічні і сферичні із фланцем	Перша	$P = \pi \cdot d_{\hat{e}} \cdot S \cdot \sigma_B \cdot k_{\delta} \quad (5.11)$

Де d_k – менший діаметр конічної деталі або 0,5 діаметра сферичної деталі, мм;

k_1, k_2, k_{δ} – коефіцієнти.

$$A = \frac{P_{cp} \cdot h}{1000} = \lambda \cdot \frac{P_{\max} \cdot h}{1000}, [\text{Дж}], \quad (5.12)$$

де h – глибина витяжки, мм;

P_{\max} – максимальне зусилля, Н;

λ – коефіцієнт, рівний 0,6...0,8.

5.3 Листове формування

До операцій листового формування відносять:

- рельєфне формування;
- відбортювання отворів і зовнішнього контуру;
- роздача;
- обтиск;
- виправлення і карбування.