

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичного заняття

на тему:

**Вибір зазорів та розрахунок виконавчих (робочих)
розмірів пуансона та матриці для роз'єднувальних
операцій листового штампування**

з дисципліни
Технології та обладнання обробки і зварювання
деталей тиском

Для практичних занять і самостійної роботи
студентів всіх форм навчання та дистанційної освіти

Призначена для здобувачів вищої освіти
освітнього рівня – бакалавр
за спеціальністю 131 – “Прикладна механіка”

Тернопіль, 2025

Методичні вказівки розроблені відповідно до навчального плану та освітньої програми «Інжиніринг технологій машинобудування та зварювання» підготовки здобувачів вищої освіти, освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Укладачі:

к.т.н., доц. Дмитро РАДИК
к.т.н., доц. Ігор ТКАЧЕНКО
ст. викл. Марія СІПРАВСЬКА

Рецензент:

д.т.н., проф. Володимир ДЗЮРА

Відповідальний за випуск

ст. викл. Марія СІПРАВСЬКА

Методичні вказівки розглянуті та схвалені на методичному семінарі кафедри інжинірингу машинобудівних технологій.
Протокол № 6 від 09.01.2025.

Методичні вказівки рекомендовано до друку науково-методичною комісією ФМТ.
Протокол № 6 від 11.02.2025.

Мета: Вивчення методики розрахунку виконавчих (робочих) розмірів пуансона та матриці для роз'єднувальних операцій листового штампування.

1. Зазори між матрицею і пуансоном

Під технологічним зазором розуміють додатню чи від'ємну різницю робочих розмірів пуансона і матриці (рис. 1).

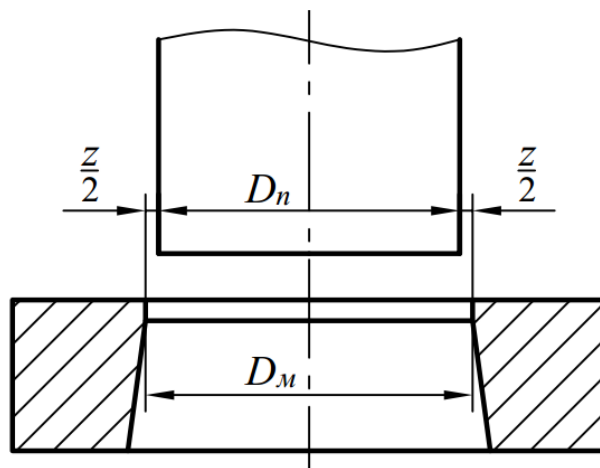


Рисунок 1 – Схема для визначення зазорів між матрицею і пуансоном при вирубіванні (пробиванні)

Значення величини зазору суттєво впливає на величину необхідного зусилля і роботи при листовому штампуванні, якість поверхні зрізу, точність отримуваної деталі, зношування і стійкість штампа.

При недостатніх зазорах сколювальні тріщини не співпадають в результаті чого утворюються заусенці та нерівний зубчастий край. У випадку надмірних зазорів при товщині заготовки до 1,5 мм спостерігається втягування матеріалу в зазор між матрицею і пуансоном з наступним його обривом.

Невірний зазор і затуплені ріжучі леза збільшують необхідне зусилля і роботу на вирубівання (пробивання).

Величина зазору залежить від механічних властивостей і товщини матеріалу, режиму роботи преса та інших. Залежно від механічних властивостей і товщини матеріалу заготовки величина зазору коливається від 4 до 18 % товщини матеріалу.

Якісне вирубування проводиться в інтервалі зазорів від $z_{\min}$ до $z_{\max}$. З метою правильного вибору значення зазору між матрицею і пуансоном доцільно ввести поняття:

1. *Мінімальне значення оптимального зазору $z_{\min}$* , при якому торцева крайка зрізу стає перпендикулярною площині деталі без заусенців.

2. *Максимальне значення оптимального зазору $z_{\max}$* , при якому поверхня зрізу залишається задовільною, хоч і не є вертикальною.

Зазори задаються залежно від товщини і виду матеріалу.

Зазор можна визначити за залежністю

$$z = ms, \quad (1)$$

де m – змінний коефіцієнт, що враховує товщину і вид матеріалу. Вибирається на основі довідникових таблиць;
 s – товщина заготовки.

2. Вибір (призначення) зазорів між пуансоном і матрицею для роз'єднувальних операцій листового штампування.

При визначенні виконавчих (робочих) розмірів пуансонів і матриць для роз'єднувальних операцій листового штампування необхідно виходити із розмірів штампованої деталі, її точності (тобто допусків на її виготовлення) і характеру зношення штампа. Для отримання штампованої деталі із заданою степінню точності необхідно передбачити правильний вибір (призначення) зазорів і допусків на робочі розміри пуансона та матриці. При цьому допуски на робочі розміри пуансонів і матриць повинні задаватися в таких межах, щоб вони забезпечували отримання оптимальних зазорів.

Встановлення напрямку зазору. Величина вирубуваної деталі, по зовнішньому контурі, залежить від розмірів матриці, а величина отвору, що пробивається – від розмірів пуансона. На основі цього можна встановити напрямок зазору залежно від того, які розміри деталі необхідно витримувати – зовнішні чи внутрішні (охоплюючі чи охоплювані).

У випадку вирубування зовнішнього контуру номінальні розміри деталі D_n надаються матриці, а зазор z забезпечується за рахунок зменшення розмірів пуансона D_n , тобто $D_n = D_n - z$. Номінальний розмір матриці приймається рівним найменшому граничному розміру деталі. При пробиванні отворів його розміри d_n надаються пуансону d_n , а зазор z забезпечується за рахунок збільшення розмірів матриці d_m , тобто $d_m = d_n + z$. Номінальний розмір пуансона приймається рівним найбільшому граничному розміру отвору.

Призначення (вибір) величини зазорів. Значення мінімальних і максимальних початкових двосторонніх зазорів для різних матеріалів при роботі на пресах з числом ходів 120 – 140 за хвилину приведені в табл. 1 [4]. Найменші початкові зазори є номінальними. Найбільші початкові зазори враховують їх збільшення за рахунок допусків на виготовлення пуансона та матриці.

Таблиця 1 – Мінімальні та максимальні початкові двосторонні зазори між матрицею і пуансоном в штампах для вирубування і пробивання

Товщина заготовки s , мм	Матеріал заготовки					
	Сталь м'яка (марок 08, 10, 15, Ст.1, Ст. 2), мідь, м'яка латунь, алюміній		Сталь середньої твердості (марок 20, 25, 30, 35, Ст.3, Ст.4), тверда латунь		Сталь тверда (марок 40, 45, 50, Ст. 5, Ст. 6 і вище), тверда бронза	
	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
0,5	0,020	0,040	0,025	0,050	0,030	0,055
0,6	0,025	0,050	0,030	0,060	0,040	0,070
0,8	0,030	0,065	0,040	0,080	0,050	0,090
1,0	0,040	0,080	0,050	0,100	0,060	0,110
1,2	0,060	0,120	0,070	0,130	0,080	0,160
1,5	0,075	0,140	0,090	0,165	0,100	0,195
1,8	0,090	0,160	0,110	0,200	0,130	0,230
2,0	0,100	0,180	0,120	0,220	0,140	0,260
2,5	0,125	0,225	0,150	0,275	0,175	0,325

Кінець таблиці 1

Товщина заготовки S, мм	Матеріал заготовки					
	Сталь м'яка (марок 08, 10, 15, Ст.1, Ст. 2), мідь, м'яка латунь, алюміній		Сталь середньої твердості (марок 20, 25, 30, 35, Ст.3, Ст.4), тверда латунь		Сталь тверда (марок 40, 45, 50, Ст. 5, Ст. 6 і вище), тверда бронза	
	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}
3,0	0,150	0,270	0,180	0,330	0,210	0,390
3,5	0,210	0,350	0,245	0,420	0,280	0,490
4,0	0,240	0,400	0,280	0,480	0,320	0,560
4,5	0,270	0,450	0,315	0,540	0,360	0,630
5,0	0,300	0,500	0,350	0,600	0,400	0,700
6,0	0,400	0,660	0,500	0,800	0,500	0,900
7,0	0,500	0,770	0,600	0,900	0,600	1,100
8,0	0,600	0,880	0,700	1,100	0,700	1,200
9,0	0,700	1,000	0,800	1,300	0,900	1,400
10	0,800	1,200	0,900	1,400	1,000	1,600
12	1,000	1,500	1,100	1,700	1,200	2,000

Допуски на виконавчі (робочі) розміри пуансона та матриці при вирубіванні та пробиванні деталей круглого профілю

На рис. 2 зображені схеми штампування та розміщення полів допусків на виконавчі (робочі) розміри пуансона та матриці при вирубіванні круглого отвору.

Враховуючи, що зношення матриці приводить до збільшення її розмірів, а зношення пуансона – до зменшення, то їх номінальні розміри задаються відповідно: мінімальні – для матриці та максимальним – для пуансона.

Розміри пуансона та матриці визначаються за такими залежностями (див. рис. 2):

- при вирубіванні зовнішнього контуру:

$$D_{\text{м}} = (D_{\text{н}} - \Delta')^{+\delta_{\text{м}}}; \quad (2)$$

$$D_n = (D_n - \Delta' - z_{\min})_{-\delta_n}. \quad (3)$$

- при пробиванні отвору:

$$d_m = (d_n - \Delta' + z_{\min})^{+\delta_m}; \quad (4)$$

$$d_n = (d_n - \Delta')_{-\delta_n}. \quad (5)$$

де D_n , D_m , d_n , d_m – відповідно діаметри пуансонів і матриць при вирубіванні та пробиванні;

D_n , d_n – номінальні діаметри деталі;

$z_{\min}$ – мінімальний (гарантований) зазор між матрицею та пуансоном;

Δ – поле допуску штапованої деталі (на зовнішній контур або отвір), який задається у робочому кресленні;

Δ' – припуск на зношення інструменту;

δ_n і δ_m – відповідно допуски на виготовлення пуансона та матриці:

При визначенні виконавчих (робочих) розмірів штампа слід також враховувати і припуск на зношення пуансона та матриці Δ' , який визначається залежно від необхідної точності штампування деталі: якщо допуск на розмір деталі $\Delta \leq 100$ мкм, то припуск на зношення приймається $\Delta' = \Delta$, у випадку $\Delta > 100$ мкм, то $\Delta' = 0,8 \cdot \Delta$ (схема розміщення полів допусків на рис. 2 дана при $\Delta' = \Delta$).

Сума допусків на виготовлення матриці та пуансона не повинна перевищувати допуск на зазор

$$\delta_n + \delta_m \leq (z_{\max} - z_{\min}). \quad (6)$$

Допуски на виконавчі (робочі) розміри матриці та пуансона δ_n і δ_m приймається за 7-м квалітетом точності при вирубіванні (пробиванні) деталей товщиною $s \leq 4$ мм, при $s > 4$ мм, можна приймати за 8-м квалітетом.

Допуски на виготовлення пуансона та матриці вибираються за відповідними таблицями єдиної системи допусків і посадок згідно ДСТУ 2500-94 залежно від квалітету точності і номінальних розмірів пуансона та матриці.

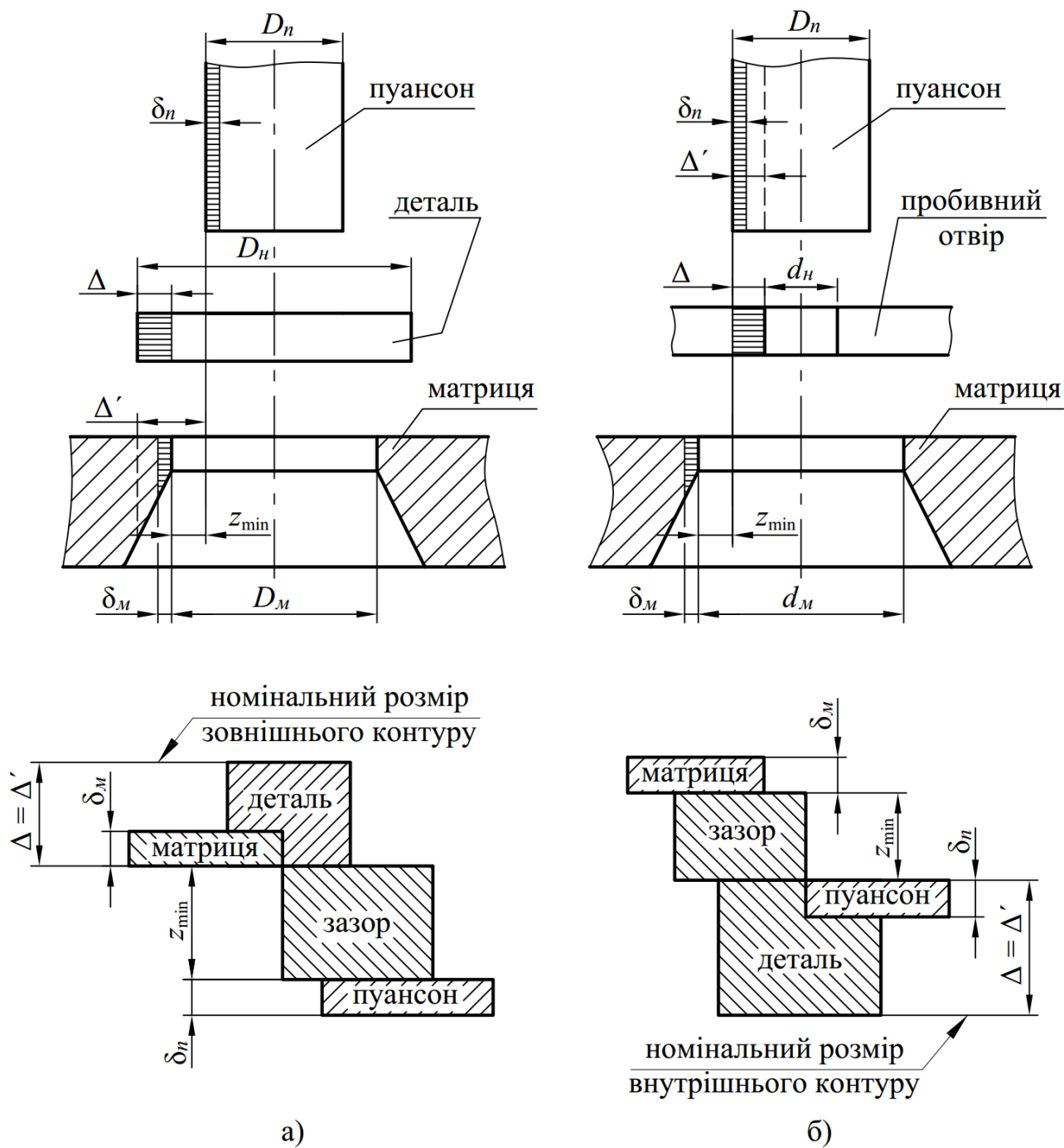


Рисунок 2 – Схеми штампування та розміщення полів допусків для виконавчих (робочих) розмірів пуансона і матриці при вирубіванні та пробиванні деталей круглого контуру:

а – при вирубіванні зовнішнього контуру; б – при пробиванні отвору

Приклад 1. Розрахувати виконавчі (робочі) розміри пуансона і матриці та призначити допуски на ці розміри для шайби зображеної на рис. 3. Матеріал – сталь 35.

Допуски на розміри деталі становлять:

$$\Delta_{60} = 300 \text{ мкм} = 0,3 \text{ мм}; \quad \Delta_{30} = 210 \text{ мкм} = 0,21 \text{ мм}.$$

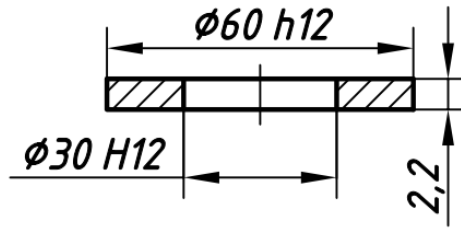


Рисунок 3 – Креслення деталі для визначення виконавчих (робочих) розмірів пуансона і матриці

Оскільки допуски на розміри $\Delta > 100$ мкм, то припуски на зношення відповідних робочих розмірів матриці та пунсона по цих розмірах дорівнюють

$$\Delta'_{60} = 0,8 \cdot \Delta_{60} = 0,24 \text{ мм};$$

$$\Delta'_{30} = 0,8 \cdot \Delta_{60} = 0,17 \text{ мм}.$$

Згідно табл. 1 вибираємо зазор для товщини матеріалу $s = 2,2$ мм (вибираємо найближче менше значення із наявних у таблиці – 2,0 мм) приймаємо $z_{\min} = 0,12$ мм.

Крім цього, за таблицями допусків для розмірів $\varnothing 60$ мм і $\varnothing 30$ мм знаходимо відповідні значення δ_n і δ_m для 7-го квалітету:

$$\delta_{m60} = 0,030 \text{ мм}; \delta_{n60} = 0,030 \text{ мм};$$

$$\delta_{m30} = 0,021 \text{ мм}; \delta_{n30} = 0,021 \text{ мм}.$$

Знаходимо значення розмірів матриці та пуансона для зовнішнього контуру з урахуванням припуску на зношення за формулами 2, 3:

$$D_m = (D_n - \Delta')^{+\delta_m} = (60 - 0,24)^{+0,03} = 59,76^{+0,03} \text{ мм};$$

$$D_n = (D_n - \Delta' - z_{\min})_{-\delta_n} = (60 - 0,24 - 0,12)_{-0,03} = 59,64_{-0,03} \text{ мм}.$$

Для отвору за формулами 4, 5 знаходимо

$$d_m = (d_n - \Delta' + z_{\min})^{+\delta_m} = (30 + 0,17 + 0,12)_{-0,021} = 30,17_{-0,021} \text{ мм};$$

$$d_n = (d_n - \Delta')_{-\delta_n} = (30 + 0,17)^{+0,021} = 30,29^{+0,021} \text{ мм}.$$

3. Розрахунок виконавчих (робочих) розмірів пуансона та матриці

Робочі деталі (елементи) штампів для вирубування і пробивання – матрицю і пуансон можна виготовляти спільно і окремо.

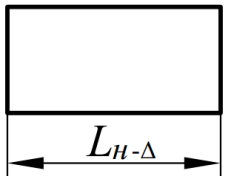
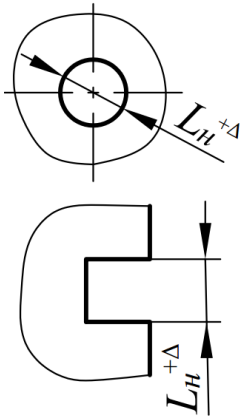
При спільному виготовленні одну з робочих деталей (котра спряжується) підганяють до іншої: при вирубуванні – пуансон підганяють до матриці (матриця визначає розмір елемента, який штампують, і є основною), при пробиванні – матрицю підганяють до пуансона (пуансон визначає розмір отвору (паза) і є основним. При цьому (табл. 2) виконавчі розміри основної деталі (матриці – L_m або пуансона – L_n) обчислюють за наведеними в табл. 2 формулами 10 або 13, а виконавчі розміри спряжуваної деталі – підганяють до основної з зазором z і допуском на зазор Δz . У зазначені формули підставляють L_n – номінальний розмір елемента, який штампують, P_z – припуск на зношення матриці та пуансона, δ_m або δ_n – граничне відхилення розміру матриці або пуансона.

Значення P_z , δ_m та δ_n встановлюють за табл. 3 залежно від розміру елемента, який штампують, і необхідної точності його виготовлення.

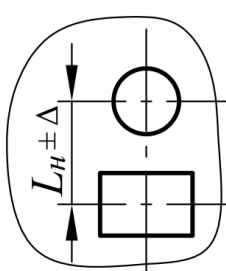
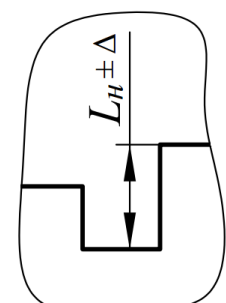
Значення z і Δz знаходять за табл. 4 (див. також рис. 3). При цьому схема розташування полів допусків елемента, який штампують, і робочих деталей штампів відповідає зображеному на рис. 4.

Наведені формули застосовують для випадків, коли при зношенні робочих деталей штампа розмір L_n елемента, який штампують, збільшується (табл. 2, варіант 1) або зменшується (варіант 2). Якщо ж зношення робочих деталей не тягне за собою зміну розміру штампованого елемента (варіант 3), то розміри робочих деталей визначають за наведеними в табл. 2 формулами 16 або 18. При цьому, в якості основної деталі можуть бути прийняті або пуансон, або матриця.

Таблиця 2 – Виконавчі розміри матриці (L_m) та пуансона (L_n)

Варіант	Операція	Ескіз	Розмір елемента, який штамнують, при зношуванні робочих деталей штампа	Формули для розрахунку виконавчих розмірів матриці та пуансона		
				При спільному виготовленні		При окремому виготовленні
				Припасовування матриці до пуансона	Припасовування пуансона до матриці	
1	Вирубування		Збільшується	—	$L_m = (L_n - \Pi_3)^{+\delta_m} \quad (7)$ $(L_n \text{ забезпечується припасовуванням до матриці з зазором } z \text{ і допуском на зазор } \Delta z)$	$L_m = (L_n - \Pi_3)^{+\delta_m} \quad (8)$ $L_n = (L_n - \Pi_3)^{-\delta_m} \quad (9)$
2	Пробивання		Зменшується	$L_n = (L_m + \Pi_3)^{-\delta_n} \quad (10)$ $(L_m \text{ забезпечується припасовуванням до пуансону з зазором } z \text{ і допуском на зазор } \Delta z)$	—	$L_n = (L_m + \Pi_3)^{-\delta_n} \quad (11)$ $L_m = (L_m + \Pi_3)^{+\delta_m} \quad (12)$

Кінець таблиці 2

Варіант	Операція	Ескіз	Розмір елемента, який штампують, при зношенні робочих деталей штампа	Формули для розрахунку виконавчих розмірів матриці та пуансона		
				При спільному виготовленні		При окремому виготовленні
				Припасовування матриці до пуансона	Припасовування пуансона до матриці	
З	Пробивання, відрізування тощо		Не змінюється	$L_n = L_n \pm 0,5\Delta \quad (13)$ (L_n забезпечується припасовуванням пуансона)		$L_m = L_n \pm 0,5\Delta z \quad (14)$
				$L_m = L_n \pm 0,5\Delta \quad (15)$ (L_m забезпечується припасовуванням матриці з зазором z і допуском на зазор Δz)		$L_n = L_n \pm 0,5\Delta z \quad (16)$

Таблиця 3 – Припуски на зношення та граничні відхилення розмірів матриці та пуансона при їх спільному виготовленні

Розмір елемента, який штампують, мм	Поля допусків номінальних розмірів штампованого елемента									
	<i>H9; h9</i>				<i>H10; h10</i>				<i>H11; h11</i>	
	Δ	P_3	δ_m	δ_n	Δ	P_3	δ_m	δ_n	Δ	P_3
Від 1 до 3	0,025	0,025	0,008	0,005	0,040	0,040	0,011	0,008	0,060	0,060
» 3 » 6	0,030	0,030	0,009	0,006	0,048	0,048	0,014	0,010	0,075	0,075
» 6 » 10	0,036	0,036	0,011	0,008	0,058	0,058	0,017	0,012	0,090	0,090
» 10 » 18	0,043	0,043	0,012	0,009	0,070	0,070	0,021	0,015	0,110	0,100
» 18 » 30	0,052	0,052	0,016	0,012	0,084	0,084	0,025	0,019	0,130	0,120
» 30 » 50	0,062	0,062	0,019	0,014	0,100	0,100	0,030	0,022	0,160	0,140
» 50 » 80	0,074	0,074	0,022	0,017	0,120	0,100	0,030	0,022	0,190	0,170
» 80 » 120	0,087	0,087	0,026	0,019	0,140	0,120	0,035	0,030	0,220	0,170
» 120 » 180	0,100	0,100	0,030	0,022	0,160	0,140	0,035	0,035	0,250	0,200
» 180 » 250	0,115	0,100	0,030	0,022	0,185	0,145	0,035	0,035	0,290	0,240
» 250 » 315	0,130	0,120	0,035	0,030	0,210	0,170	0,035	0,035	0,320	0,250
» 315 » 400	0,140	0,120	0,035	0,030	0,230	0,180	0,035	0,035	0,360	0,300
» 400 » 500	0,155	0,140	0,035	0,030	0,250	0,200	0,045	0,045	0,400	0,300

Кінець таблиці 3

Розмір елемента, який штампують, мм	Поля допусків номінальних розмірів штампованого елемента									
	<i>H11; h11</i>		<i>H12; h12</i>				<i>H14; h14</i>			
	δ_m	δ_n	Δ	P_3	δ_m	δ_n	Δ	P_3	δ_m	δ_n
Від 1 до 3	0,018	0,013	0,10	0,10	0,030	0,022	0,25	0,21	0,05	0,05
» 3 » 6	0,022	0,016	0,12	0,10	0,030	0,022	0,30	0,25	0,06	0,06
» 6 » 10	0,027	0,020	0,15	0,13	0,035	0,030	0,36	0,30	0,08	0,08
» 10 » 18	0,030	0,022	0,18	0,15	0,035	0,035	0,43	0,35	0,10	0,10
» 18 » 30	0,035	0,035	0,21	0,17	0,035	0,035	0,52	0,40	0,12	0,12
» 30 » 50	0,035	0,035	0,25	0,20	0,045	0,045	0,62	0,50	0,14	0,14
» 50 » 80	0,035	0,035	0,30	0,25	0,060	0,060	0,74	0,60	0,17	0,17
» 80 » 120	0,035	0,035	0,35	0,27	0,080	0,080	0,87	0,70	0,20	0,20
» 120 » 180	0,045	0,045	0,40	0,30	0,080	0,080	1,00	0,80	0,20	0,20
» 180 » 250	0,060	0,060	0,46	0,35	0,100	0,100	1,15	0,90	0,26	0,26
» 250 » 315	0,060	0,060	0,52	0,40	0,120	0,120	1,30	0,95	0,27	0,27
» 315 » 400	0,080	0,080	0,57	0,45	0,150	0,150	1,40	1,12	0,28	0,28
» 400 » 500	0,080	0,080	0,63	0,50	0,160	0,160	1,55	1,25	0,30	0,30

Примітка. Позначення: Δ – граничне відхилення номінального розміру елемента, який штампують; P_3 – припуск на зношення пуансона (матриці); δ_m та δ_n – граничні відхилення виконавчого розміру відповідно матриці та пуансона.

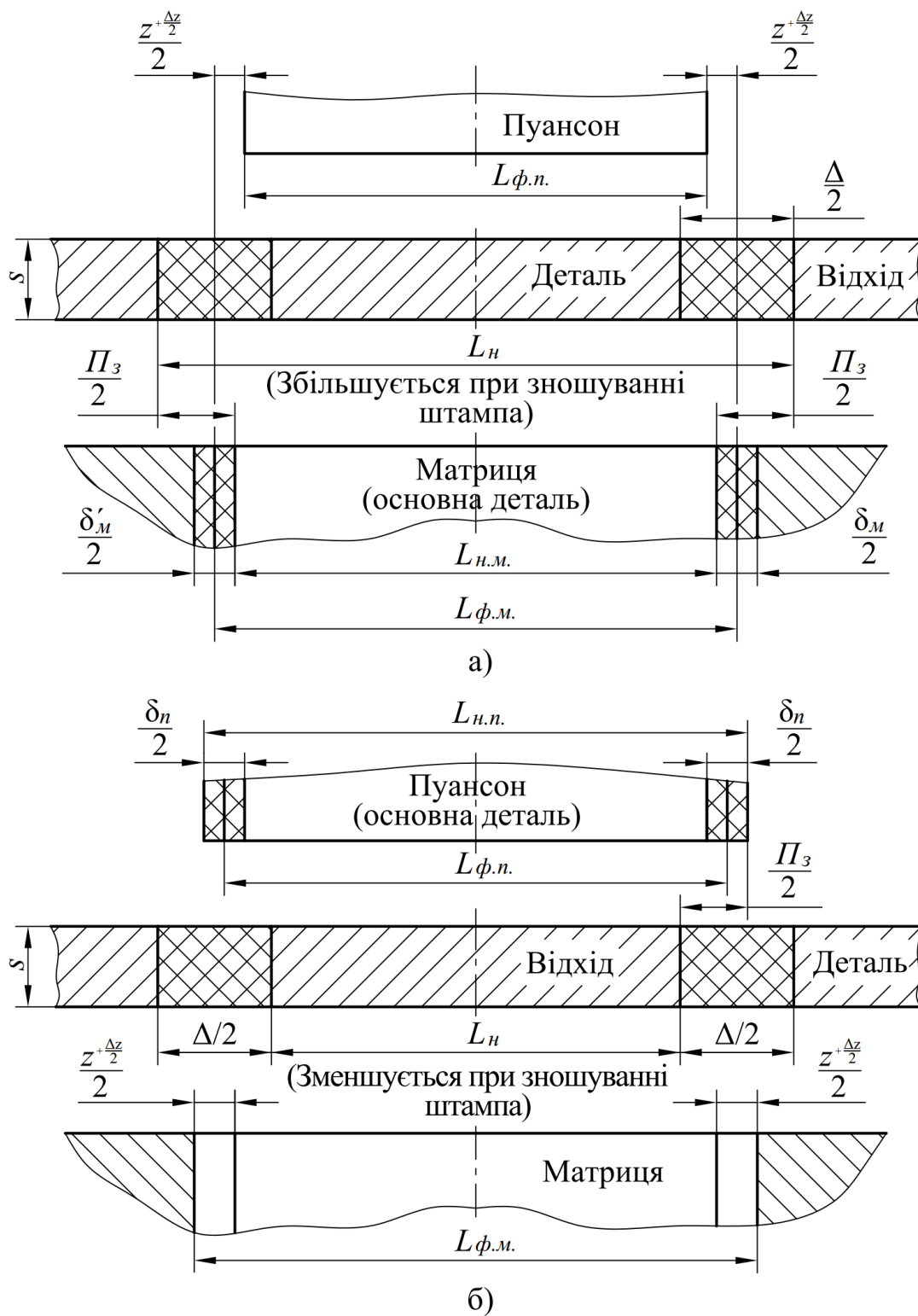


Рисунок 4 – Схема розмірів і полів допусків деталі, яку штамнують, та робочих деталей штампку при їх спільному виготовленні: а – при вирубуванні; б – при пробиванні.

L_n – номінальний розмір елемента, який штамнують; $L_{н.м.}$ – номінальний розмір матриці; $L_{п.п.}$ – номінальний розмір пуансона; $L_{ф.м.}$ – фактичний розмір матриці; $L_{ф.п.}$ – фактичний розмір пуансона; Δ – допуск розміру елемента, який штамнують; Π_3 – припуск на зношування пуансона та матриці; δ_m та δ_n – допуски розмірів пуансона та матриці; z і Δz – зазор і поле допуску зазору між матрицею і пуансоном (двосторонні)

Таблиця 4 – Двосторонні нормальні зазори між матрицею та пуансоном при штампуванні металів та їх сплавів у штампах з металевими робочими деталями, мм

Товщина матеріалу, s, мм	$\sigma_{zp} \leq 200$, МПа		$200 < \sigma_{zp} < 360$, МПа		$360 < \sigma_{zp} < 520$, МПа		$\sigma_{zp} > 520$, МПа	
	z	Δz	z	Δz	z	Δz	z	Δz
До 0,1	0,004	—	0,005	—	0,006	—	0,007	—
Від 0,1 до 0,2	0,008		0,010	+0,010	0,012	+0,010	0,014	+0,010
» 0,2 » 0,3	0,012	+0,010	0,015		0,018		0,021	
» 0,3 » 0,4	0,016		0,020		0,024		0,028	
» 0,4 » 0,5	0,020		0,025		0,030		0,035	
» 0,5 » 0,6	0,024	+0,020	0,030	+0,020	0,036	+0,020	0,042	+0,020
» 0,6 » 0,7	0,028		0,035		0,042		0,049	
» 0,7 » 0,8	0,032		0,040		0,048		0,056	
» 0,8 » 0,9	0,036		0,045		0,054		0,063	
» 0,9 » 1,0	0,040	+0,030	0,050	+0,030	0,060	+0,030	0,070	+0,030
» 1,0 » 1,2	0,050		0,070		0,080		0,100	
» 1,2 » 1,5	0,080		0,090		0,110		0,120	
» 1,5 » 1,8	0,090		0,110	+0,050	0,130	+0,050	0,140	+0,050
» 1,8 » 2,0	0,100	+0,050	0,120		0,140		0,160	
» 2,0 » 2,2	0,130		0,160		0,180		0,200	
» 2,2 » 2,5	0,150		0,180		0,200		0,230	
» 2,5 » 2,8	0,170	+0,100	0,200	+0,100	0,220	+0,100	0,250	+0,100
» 2,8 » 3,0	0,180		0,210		0,240		0,270	
» 3,0 » 3,5	0,240		0,280		0,320		0,350	
» 3,5 » 4,0	0,280	+0,200	0,320	+0,200	0,360	+0,200	0,400	+0,200
» 4,0 » 4,5	0,320		0,360		0,450		0,540	
» 4,5 » 5,0	0,350		0,400		0,500		0,600	
» 5,0 » 6,0	0,420		0,500		0,600		0,700	
» 6,0 » 7,0	0,490	+0,200	0,700	+0,200	0,900	+0,200	1,000	+0,200
» 7,0 » 8,0	0,700		0,800		1,000		1,100	
» 8,0 » 9,0	0,900		1,100		1,300		1,400	
» 9,0 » 10	1,000		1,200		1,400		1,600	

Кінець таблиці 4

Товщина матеріалу, s	$\sigma_{зр} \leq 200$, МПа		$200 < \sigma_{зр} < 360$, МПа		$360 < \sigma_{зр} < 520$, МПа		$\sigma_{зр} > 520$, МПа	
	z	Δz	z	Δz	z	Δz	z	Δz
Від 10 до 11	1,600	+0,300	1,600	+0,300	1,800	+0,300	2,000	+0,300
» 11 » 12	1,700		1,700		1,900		2,200	
» 12 » 13	2,100		2,100		2,300		2,600	
» 13 » 14	2,300		2,300		2,500		2,800	
» 14 » 15	2,700	+0,500	2,700	+0,500	3,000	+0,500	3,300	+0,500
» 15 » 16	2,900		2,900		3,200		3,500	
» 16 » 17	3,400		3,400		3,800		4,100	
» 17 » 18	3,600		3,600		4,000		4,300	
» 18 » 19	4,200		4,200		4,600		5,000	
» 19 » 20	4,400		4,400		4,800		5,200	

Примітки:

1. Позначення: z – найменше значення початкового оптимального двостороннього зазору; Δz – граничне відхилення двохстороннього зазору.

2. Приклади матеріалів, які штампують:

- при $\sigma_{зр} < 200$ МПа – м'яка мідь, алюміній деяких марок;
- при $200 < \sigma_{зр} < 360$ МПа – сталь марок 08Ю, 08кп, 08пс, 12Х13, електротехнічні сталі, латунь, алюмінієві сплави;
- при $360 < \sigma_{зр} < 520$ МПа – сталь марок 23, 30, Ст3пс, Ст4кп, 12Г2, 12ГС, 20Х13, 40Х13, нікелеві сплави, бронза;
- при $\sigma_{зр} > 520$ МПа – сталь марок 40, Ст6пс, 65Г, електротехнічні сталі, бронза, корозійностійкі сталі.

Якщо розміри елемента, який штампують, для випадку вирубування (варіант 1) задані у вигляді $L_n \pm \Delta$, то їх слід перетворити до виду $(L_n + \Delta) - \Delta_2$ і далі, розглядати $L_n + \Delta$ як номінальний розмір і Δ_2 – як його поле допуску, скористатися формулою (7) (табл. 2). Те саме стосується випадку задання розміру отвору (варіант 2) у вигляді $L_n \pm \Delta$. Його слід перетворити до виду $(L_n - \Delta) + \Delta_2$ і скористатися формулою (10), наведеною в табл. 2.

Розміри можуть бути задані також у вигляді $L_{H-\Delta_2}^{-\Delta_1}$, або $L_{H+\Delta_1}^{+\Delta_2}$ (при $\Delta_2 > \Delta_1$) відповідно для варіантів 1 і 2. У цьому випадку слід перетворити їх до виду відповідно $(L_H - \Delta_1)_{-(\Delta_2 - \Delta_1)}$ і $(L_H + \Delta_1)^{+(\Delta_2 - \Delta_1)}$, потім скористатися формулами (7) і (10) (табл. 2), вважаючи, що $L_H - \Delta_1$ та $L_H + \Delta_1$ є номінальними розмірами елементів, які штампують, а $(\Delta_2 - \Delta_1)$ – полем їх допуску.

При окремому виготовленні пуансона та матриці (рис. 5), коли вони обробляються до остаточних розмірів без взаємного узгодження, їх виконавчі розміри розраховують за формулами (8), (9), (11), (12), (14) і (16), наведеними в табл. 2. При цьому припуск P_3 на зношення приймають за табл. 3, а поля допусків розмірів пуансона та матриці підбирають таким чином, щоб дотримувалася умова

$$(\delta'_m + \delta'_n) \leq \Delta z, \quad (17)$$

де δ'_m і δ'_n – абсолютні значення полів допусків матриці та пуансона.

При цьому поля кожного із допусків δ'_m і δ'_n можуть встановлюватися довільно або згідно ДСТУ 2500-94. Для останнього випадку можна скористатися даними табл. 6, які підібрані таким чином, щоб задовільнялася умова

$$0,84\Delta z \leq (\delta'_m + \delta'_n) \leq 1,16\Delta z.$$

Підбір полів допусків за ДСТУ 2500-94 для всіх значень Δz з дотриманням умови $(\delta'_m + \delta'_n) = \Delta z$ не є можливим.

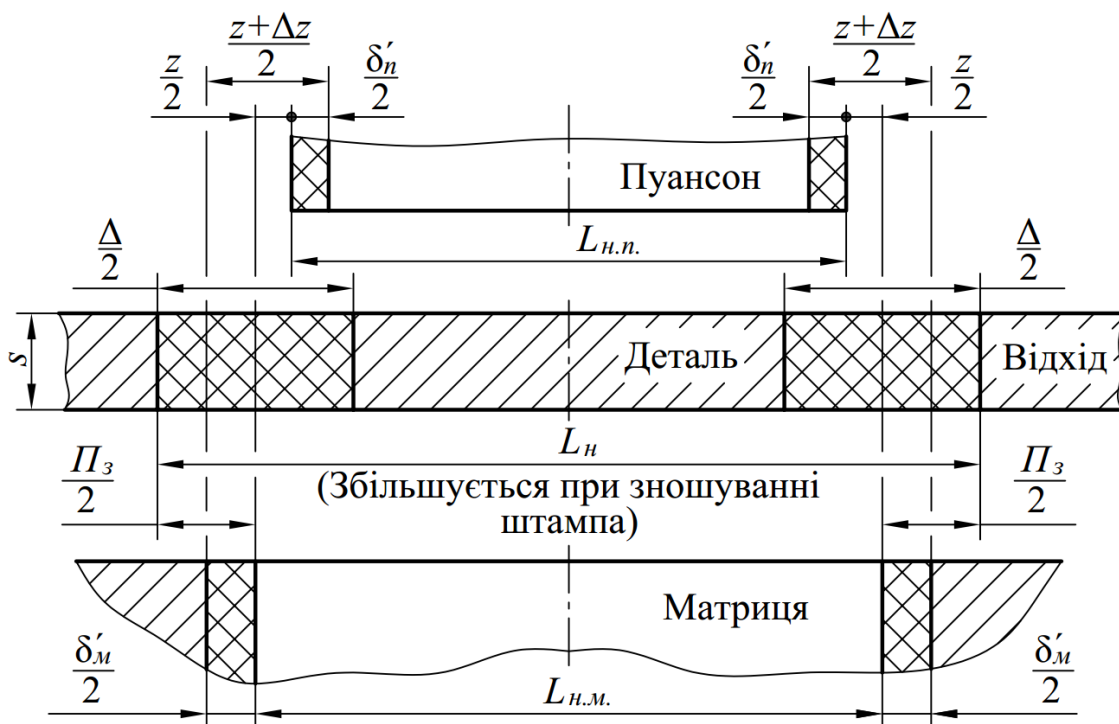
Приклад 2. Визначити виконавчі розміри матриці та пуансона для вирубування заготовки для випадків їх спільного і роздільного виготовлення.

Вихідні дані (див. рис. 3): $l_3 = 75h12$, матеріал – електротехнічна сталь марки 2011; товщина заготовки $s = 0,35$ мм.

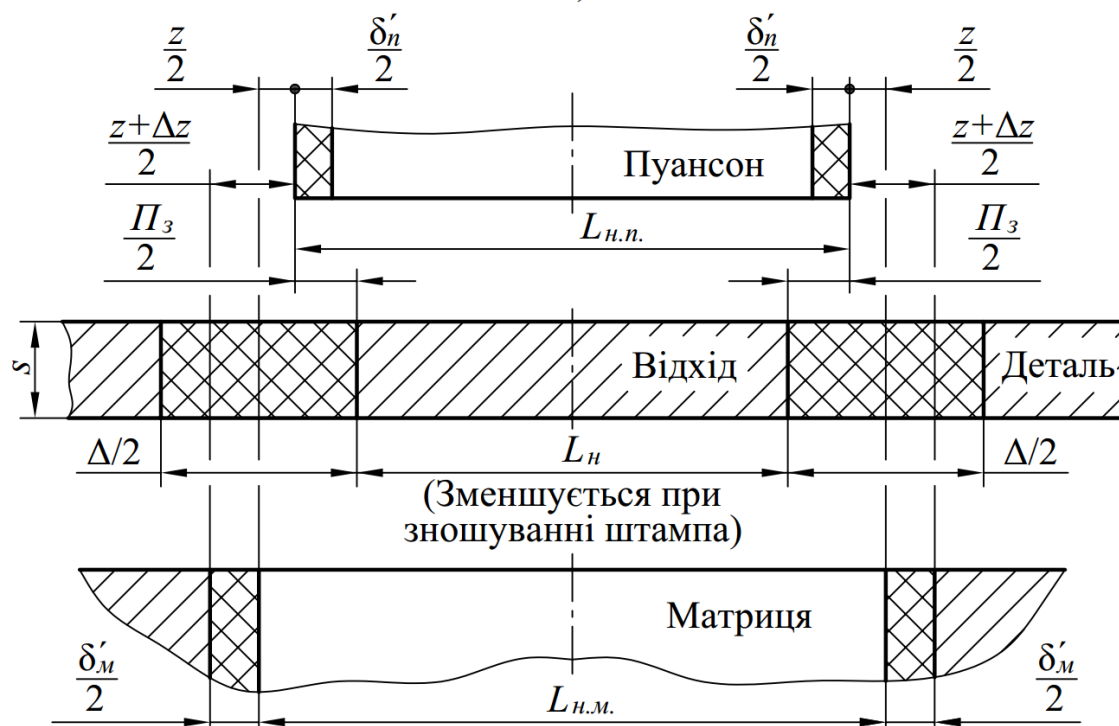
За табл. 3 для розміру $75h12$ знаходимо $P_3 = 0,25$ мм; $\delta_m = 0,06$ мм. За табл. 4 для товщини $0,35$ мм при $\sigma_{zp} = 430$ МПа (табл. 1, додаток А) знаходимо зазор і поле допуску зазору між матрицею і пуансоном $z = 0,024$ мм; $\Delta z = 0,010$ мм.

Для випадку спільного виготовлення матриці та пуансона.

$$L_M = (75 - 0,25)^{+0,060} = 74,75^{+0,060} \text{ MM.}$$



a)



6)

Рисунок 5 – Схема розмірів і полів допусків елемента, який штампують, і робочих деталей штампа при їх окремому виготовленні:

а – при вирубуванні; б – при пробиванні

Розмір пуансона L_n слід забезпечити його припасовуванням до матриці з рівномірним двостороннім зазором $0,024^{+0,010}$ мм.

Для випадку окремого виготовлення пуансона і матриці при товщині $s = 0,35$ мм і розмірі елемента, який штампують, 75 мм поля допусків розмірів матриці та пуансона в табл. 5 не передбачені, оскільки окреме виготовлення вимагає встановлення дуже жорстких допусків для розмірів матриці та пуансона при дотриманні умови

$$(\delta'_m + \delta'_n) \leq 0,01 \text{ мм.}$$

Приклад 3. Визначити виконавчі розміри пуансона та матриці для пробивання отвору для випадку їх окремого виготовлення.

Вихідні дані: діаметр отвору, який пробивають – $134^{+0,24}_{+0,14}$ мм; матеріал – сталь марки 08кп; товщина заготовки $s = 0,8$ мм.

Перетворимо формат запису для розміру діаметра отвору

$$134^{+0,24}_{+0,14} = 134,14^{+0,10} \text{ мм.}$$

За табл. 3 для поля допуску $\Delta = 0,10$ мм знаходимо величину припуску на зношування $П_3 = 0,1$ мм. За табл. 4, для $\sigma_3 = 250$ МПа (табл. 1) і $s = 0,8$ мм знаходимо зазор і поле допуску зазору між матрицею і пуансоном $z = 0,040$ мм, $\Delta z = +0,020$ мм.

За табл. 5 для товщини $s = 0,8$ мм і діаметра $134,14$ мм знаходимо поля допусків:

- для матриці – $H4^{(+0,012)}$;

- для пуансона – $h3_{(-0,008)}$.

Умова $(\delta'_m + \delta'_n) \leq 0,02$ мм – дотримана.

За формулами (14) і (15) знаходимо виконавчі розміри для пуансона і матриці:

$$d_n = (134,14 + 0,1)_{-0,008} = 134,24)_{-0,008} \text{ мм;}$$

$$d_m = (134,14 + 0,1 + 0,40)^{+0,012} = 134,28)^{+0,012} \text{ мм.}$$

Таблиця 5 – Рекомендовані поля допусків і максимальних відхилень матриці δ'_m і пуасона δ'_n при виготовленні, мм

Розмір елемента, який штампують	Товщина елемента, який штампують, s															
	від 0,2 до 0,5				від 0,5 до 1,0				від 1,0 до 1,5				від 1,5 до 3,0			
	Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон	
	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення
Від 1 до 3	H6	+0,006	h5	-0,004	H8	+0,014	h6	-0,006	H9	+0,025	h7	-0,010	H10	+0,040	h8	-0,014
» 3 » 6	H5	+0,005	h4	-0,004	H7	+0,012	h6	-0,008	H8	+0,018	h7	-0,012	H9	+0,030	h8	-0,018
» 6 » 10	H5	+0,006	h4	-0,004	H7	+0,015	h5	-0,006	H8	+0,022	h6	-0,009	H9	+0,036	h7	-0,015
» 10 » 18	H4	+0,005	h4	-0,005	H6	+0,011	h5	-0,008	H7	+0,018	h6	-0,013	H9	+0,043	h7	-0,018
» 18 » 30	H4	+0,006	h3	-0,006	H6	+0,013	h5	-0,009	H7	+0,021	h6	-0,013	H8	+0,033	h7	-0,021
» 30 » 50	H4	+0,007	h3	-0,004	H6	+0,016	h4	-0,007	H6	+0,016	h6	-0,016	H8	+0,039	h6	-0,016
» 50 » 80	—	—	—	—	H5	+0,013	h4	-0,008	H6	+0,019	h5	-0,013	H7	+0,030	h6	-0,019
» 80 » 120	—	—	—	—	H4	+0,010	h4	-0,008	H5	+0,015	h5	-0,015	H7	+0,035	h6	-0,022
» 120 » 180	—	—	—	—	H4	+0,012	h3	-0,008	H5	+0,018	h4	-0,012	H6	+0,025	h6	-0,025
» 180 » 250	—	—	—	—	—	—	—	—	H5	+0,020	h4	-0,014	H6	+0,029	h5	-0,020
» 250 » 315	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	H6	+0,032	h5	-0,023
» 315 » 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	H5	+0,025	h5	-0,025
» 400 » 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	H5	+0,027	h5	-0,027

Кінець таблиці 5

Розмір елемента, який штамнують	Товщина елемента, який штамнують, s															
	від 3,0 до 5,0				від 5,0 до 10,0				від 10,0 до 14,0				від 14,0 до 20,0			
	Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон		Матриця		Пуассон	
	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення	Поле допуску	Граничне відхилення
Від 1 до 3	H11	+0,060	h10	-0,040	H13	+0,140	h11	-0,060	H11	+0,250	h11	-0,060	H15	+0,400	h12	-0,100
» 3 » 6	H11	+0,075	h9	-0,030	H12	+0,120	h11	-0,075	H13	+0,180	h11	-0,075	H11	+0,300	h12	-0,120
» 6 » 10	H10	+0,058	h9	-0,036	H12	+0,150	h10	-0,058	H13	+0,220	h11	-0,090	H14	+0,360	h12	-0,150
» 10 » 18	H10	+0,070	h9	-0,043	H11	+0,110	h10	-0,070	H12	+0,180	h11	-0,110	H11	+0,430	h11	-0,110
» 18 » 30	H9	+0,052	h9	-0,052	H11	+0,130	h9	-0,052	H12	+0,210	h10	-0,084	H13	+0,330	h11	-0,130
» 30 » 50	H9	+0,062	h8	-0,039	H11	+0,160	h9	-0,062	H12	+0,250	h9	-0,062	H13	+0,390	h10	-0,100
» 50 » 80	H9	+0,074	h7	-0,030	H10	+0,120	h9	-0,074	H11	+0,190	h9	-0,074	H12	+0,300	h10	-0,120
» 80 » 120	H8	+0,054	h7	-0,035	H10	+0,140	h8	-0,054	H11	+0,220	h9	-0,087	H12	+0,350	h10	-0,140
» 120 » 180	H8	+0,063	h7	-0,040	H10	+0,160	h7	-0,040	H11	+0,250	h8	-0,063	H12	+0,400	h9	-0,100
» 180 » 250	H8	+0,072	h6	-0,029	H10	+0,185	h7	-0,046	H11	+0,185	h8	-0,072	H12	+0,460	h9	-0,115
» 250 » 315	H8	+0,081	h6	-0,032	H9	+0,130	h7	-0,052	H11	+0,210	h8	-0,081	H11	+0,320	h9	-0,130
» 315 » 400	H7	+0,057	h6	-0,036	H9	+0,140	h7	-0,057	H10	+0,230	h8	-0,089	H11	+0,360	h9	-0,140
» 400 » 500	H7	+0,063	h6	-0,040	H9	+0,155	h6	-0,063	H9	+0,155	h8	-0,097	H11	+0,400	h8	-0,097

Виконавчі розміри матриці та пуансона при односторонньому відрізуванні визначають конструктивно (рис. 6). Зазор z_0 між матрицею 5 та пуансоном 2 приймають рівним половині двостороннього зазору, наведеного в табл. 4. При цьому, для забезпечення хорошої якості поверхні зрізу, а також відсутності прогину відрізуваної 7 і початкової 4 заготовок необхідно забезпечити їх надійне притискання зусиллями Q_1 і Q_2 , які визначають з умови рівності моментів за формулами:

$$Q_1 = 2P \frac{z_0}{l_1}; \quad (18)$$

$$Q_2 = 2P \frac{z_0}{2}. \quad (19)$$

При односторонньому відрізуванні без притискання зазор z_0 визначають за формулою

$$z_0 = K_{змз} \frac{z}{2}, \quad (20)$$

де $K_{змз}$ – коефіцієнт зменшення зазору, найбільші значення якого наведені в табл. 6;

z – найменше значення початкового оптимального двостороннього зазору, табл. 4.

У випадку, якщо значення коефіцієнта $K_{змз}$ є меншим, від наведеного в табл. 6, якість відрізування покращується.

Таблиця 6. Найбільші значення коефіцієнта зменшення зазору $K_{змз}$ при односторонньому відрізуванні заготовки в штампі з паралельними гранями пуансона та матриці

Товщина заготовки s , мм	Кольорові метали	Сталь	
		$\sigma_s \leq 500$ МПа	$\sigma_s > 500$ МПа
до 1,0	0,85	0,80	0,75
Від 1,0 до 3,0	0,80	0,75	0,70
» 3,0 » 5,0	0,75	0,70	0,65
» 5,0 » 8,0	0,70	0,65	0,60
Більше 8,0	0,65	0,60	0,55

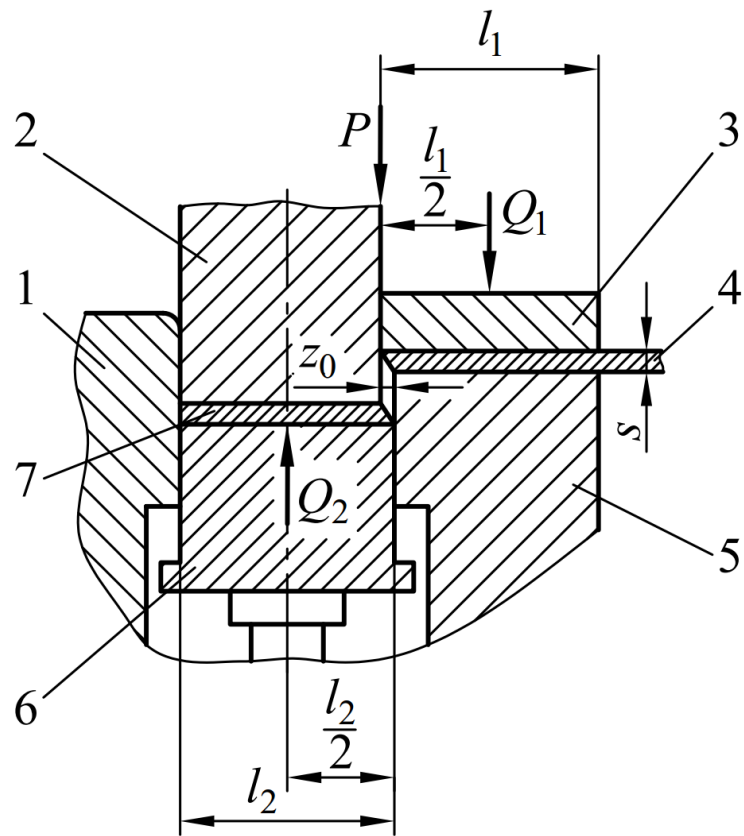


Рисунок 6 – Схема відрізування заготовки:

1 – противідтискач; 2 – пуансон; 3 – верхній притискач; 4 – початкова заготовка; 5 – матриця; 6 – нижній притискач; 7 – відрізувана заготовка

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 372 с.
2. Обробка металів тиском: навч. посіб. для ВНЗ / Б. П. Серeda. – Запоріжжя : Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2009. – 342 с.
3. Холодне листовe штампування : навч. посіб./ М.М. Убизький, О. В. Кулик, А. Г. Фесенко, Д. І. Шевчук. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2008. 124 с. : веб сайт. URL : <https://files.fti.dp.ua/book/kholodne-lystove-shtampuvannia> (дата звернення: 25.01.2024).
4. Технологія холодного штампування та конструювання штампів : навч. посіб. / М. В. Орлюк, П. С. Вишневський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 25 с.
5. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навчальний посібник / В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко, С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2017. – 144 с.
6. Єднерал П. П. Практичні і лабораторні роботи з обробки металів тиском. Київ : «Вища школа», 1975. 108 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка / Укл. В.В. Широкобоков, В.І. Дубина – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 46 с.
8. Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка / Укл. В. М. Боков. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019, – 64 с.
9. ДСТУ 2261-93. ДСТУ 2261-93 Штампи для оброблення металу тиском. Терміни та визначення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 1993. 22 с.
10. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.
11. ДСТУ 2500-94 Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 1994. 52 с.

Таблиця 1. Механічні властивості листової та рулонної сталі*¹

Марка сталі	σ_b , МПа	$\sigma_{зр}$, МПа	δ_{10} , %
Сталь за ГОСТ 9045-80			
08Ю	323	258	46
08кп	363	280	34
Сталь за ГОСТ 4041-71			
08кп	380	250	30
10кп	420	270	28
15	450	320	26
20	450	320	26
25	500	360	24
30	600	430	21
35	650	460	18
40	670	490	17
Сталь за ГОСТ 16523-70			
40	568	490	17
45	598	520	15
50	627	540	13
55	647	557	—
58	598	520	—
60	676	582	—
Ст0	—	270	—
Ст2кп	420	360	26
Ст3кп	470	400	21
Ст4кп	520	450	19
Ст5пс	640	550	15
Ст6пс	Більше 600	Більше 520	11
Сталь за ГОСТ 11268-76 і ГОСТ 11269-76			
25ХГСА	700	600	17
30ХГСА	750	640	16
12Х2НМФА	750	640	11
23Х2НВФА	800	720	15
Сталь за ГОСТ 1542-71 у відпаленому стані			
60Г	800	680	14
65Г	850	720	12
70Г	900	760	10
25ХГСА	700	600	15
30ХГСА	750	640	16
Сталь по ГОСТ 5582-75 після пом'якшуючого термооброблення			
20Х13	500	430	20* ²
40Х13	560	480	15* ²

Кінець таблиці 1.

Марка сталі	σ_b , МПа	$\sigma_{зр}$, МПа	δ_{10} , %
08X13	400	340	21* ²
12X18H9	550	470	35* ²
08X18H10	520	440	45* ²
08X18H10T	520	440	40* ²
Сталь за ГОСТ 5582-75 в нагартваному стані			
12X18H9	1250	1000	13* ²
08X18H10	950	810	10* ²
12X18H10T	750	635	25* ²
Сталь електротехнічна з хімічним складом за ГОСТ 21427.0-75			
3411 (Э310)	400	340	16* ³
2011 (Э0100)	600	430	30* ³
1211 (Э11)	400	340	16* ³
3421 (Э340)	400	340	16* ³
Стрічка за ГОСТ 21996-76 із сталей марок 50, 60, У7А – У12 А, 70, 65Г, 60С2А та ін. Група точності:			
1П	1600	1200	3,0
2П	1900	1500	2,5
3П	Більше 1900	Більше 1500	2,0
Стрічка за ГОСТ 2283-79 у відпаленому стані			
50Г	750	650	10* ³
У7А	750	650	10* ³
У12А	850	700	10* ³
У13А	900	770	10* ³
60Г	750	680	10* ³
65Г	750	720	10* ³
85	750	650	10* ³
60С2А	900	780	8* ³
Х6ВФ	900	780	—
Р9	900	780	—

Примітки:

*¹ В таблиці наведені найбільші значення границі міцності при розтягу σ_b і опору зрізування $\sigma_{зр}$, а також найменші значення відносного видовження δ_{10} .
Значення σ_b наведені для вирубування (пробивання) в штампах з нормальним зазором між пуансоном і матрицею.

*² Наведені значення δ_5 .

*³ Наведені значення δ_4 .

ЗМІСТ

1. Зазори між матрицею і пуансоном	3
2. Вибір (призначення) зазорів між пуансоном і матрицею для роз'єднувальних операцій листового штампування	4
3. Розрахунок виконавчих (робочих) розмірів пуансона та матриці	10
4. Перелік посилань	25
5. Додаток А	26