

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Методичні вказівки

до практичних занять з курсу
«Проектування та розрахунок штампового
оснащення для холодного штампування»
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,
спеціалізації «Обладнання та технології пластичного
формування конструкцій машинобудування»
всіх форм навчання
Частина II

2024

Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина II /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 26 с.

Укладач: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Рецензент: А.Ю. Матюхін, доц., к.т.н.

Відповідальний за випуск: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри ОМТ
протокол № 8 від 26.06.2024

Рекомендовано до видання
НМК машинобудівного факультету
протокол № 1 від 27.08.2024

ЗМІСТ

Частина 1

2 ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ТИСКУ ШТАМПА	30
3 ПЛИТИ ШТАМПІВ ТА ЇХ РОЗРАХУНОК	35
ЛІТЕРАТУРА	50

Частина 3

2 ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ТИСКУ ШТАМПА

Для вірної роботи штампа і для більш симетричного навантаження робочих органів, необхідно прагнути до того, щоб рівнодіюча сил, які діють одночасно, співпадала з центром тиску преса. Відомо, що при взаємному співпадати лінії та напрямку дії указаних сил підвищується зносостійкість ріжучих частин розділових штампів, так як забезпечується більш рівномірний різ. Якість штампуємих деталей у формоутворюючих штампах також підвищується.

Якщо прес має хвостове кріплення, то отже хвостовик штампа повинен розміщуватись в центрі тиску діючих сил.

Центр тиску можна визначити декількома способами:

- а) моделюванням;
- б) аналітичним;
- в) графічним.

При визначенні центра тиску багатопуансонного штампа для розподільних операцій спочатку знаходять центри тяжіння окремих контурів, а потім відшкодовують координати загального центра тиску для всіх контурів. Можливі два випадки: всі пуанسونи одночасно стають до роботи і неодноразом. Розглянемо обидва випадки на прикладах.

Приклад 1. У прямокутній деталі (рис. 2.1, а) пробивається п'ять різних отворів і відрізається один кут. Потрібно визначити загальний центр тяжіння для всіх шести контурів. Всі пуанسونи вступають в роботу одночасно.

Рішення. Визначаємо центри тяжіння всіх шести контурів. Для контурів 1, 2, 3, 5 - центри тяжіння співпадають з центрами тяжіння їх площин. Центр тяжіння відрізаємої ділянки 6 розміщується посередині лінії відрізки. Центр тяжіння контуру 4 визначається аналогічно з попереднім прикладом, для чого окремо виконуємо схему розрахунку (рис. 2.1, б).

Координати центра тяжіння контуру 4 відносно прямокутної системи координат:

$$X_0 = \frac{25 \cdot 32.5 \cdot 10 \cdot 20 + 10 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 35 \cdot 27.5 + 20 \cdot 45}{25 + 10 + 10 + 10 + 35 + 20} = \frac{3130}{110} = 28,5$$

$$Y_0 = \frac{25 \cdot 30 + 10 \cdot 25 + 10 \cdot 20 + 10 \cdot 15 + 35 \cdot 10 + 20 \cdot 20}{110} = \frac{2100}{110} = 19$$

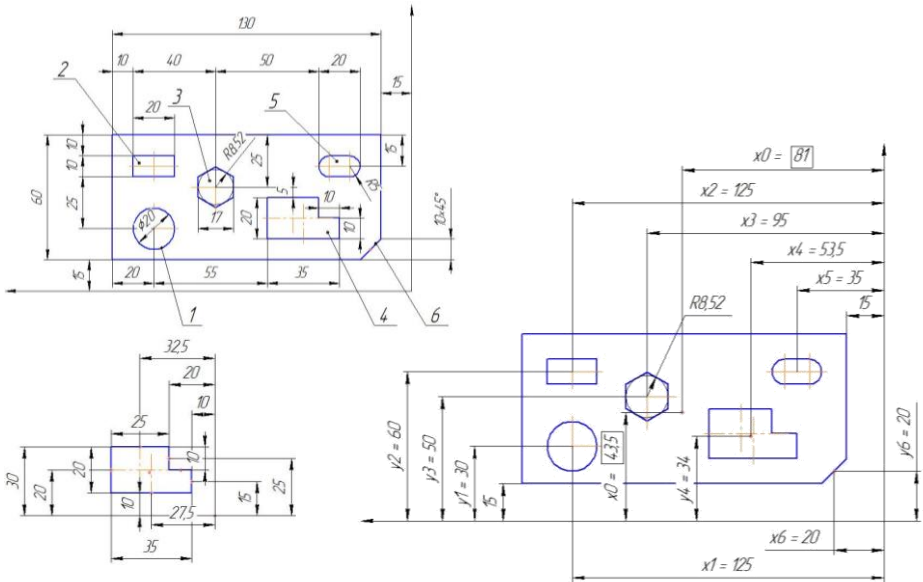


Рисунок 2.1 – До визначення центра тиску багатопуансонного розділового штампa

Або, якщо прийняти за бази боки А і Б (див. схему), то центр тяжіння контури 4 буде знаходитись на відстанях від боку А $45 - 28,5 = 16,5$ мм і від боку В $30 - 19 = 11$ мм.

2. Підраховуємо довжину периметрів вирубаних контурів, користуючись розмірами креслення:

$$L_1 = \pi \cdot 20 = 62.8; \quad L_2 = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 20 = 60;$$

$$L_3 = 6r = 6 \cdot \frac{17}{2 \cdot \cos 30^\circ} = 59; \quad L_5 = 2 \cdot 10 + \pi \cdot 10 = 51.4.$$

$$L_4 = 35 + 20 + 25 + 10 + 10 + 10 = 110;$$

$$L_6 = \frac{10}{\cos 45^\circ} = \frac{10}{0.707} = 14.1.$$

3. Будемо загальну схему розрахунку для шести ріжучих контурів із системою прямокутних координат x-y (рис 2.1, в). Відстані

від центрів тяжіння всіх контурів до осей координат приймаємо за схемою.

4. Визначаємо координати загального центра тиску до осі у-у :

$$X_0 = \frac{62.8 \cdot 125 + 60 \cdot 125 + 59 \cdot 95 + 110 \cdot 53.5 + 51.4 \cdot 35 + 14.1 \cdot 20}{62.8 + 60 + 59 + 110 + 51.4 + 14.1} = 81$$

до осі х-х

$$Y_0 = \frac{62.8 \cdot 30 + 3600 + 59 \cdot 50 + 110 \cdot 34 + 51.4 \cdot 60 + 14.1 \cdot 60 + 14.1 \cdot 20}{357.3} = 43.5$$

Задачі та вправи

1-6. Визначити центр тиску штампа (аналітично) при пробиванні в деталі 2 отвори (рис. 2.3), табл. 2.1

Табл. 1 – Параметри деталі

Розмір	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
d	10	15	20	25	30	25
A	60	80	100	120	140	140
B	30	40	50	60	70	75
A	40	60	70	80	90	75
b	5	5	10	10	10	10
N	10	5	10	5	15	15
M	10	10	15	20	15	10
e	10	10	15	30	20	20
f	20	25	30	30	35	30
№задачі	1	2	3	4	5	6

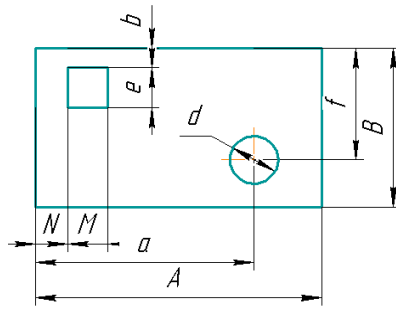


Рисунок 2.3 – Пластина 1

7-12. Визначити центр тиску штампа (аналітично) при пробиванні отворів (рис. 2.4) табл. 2.2

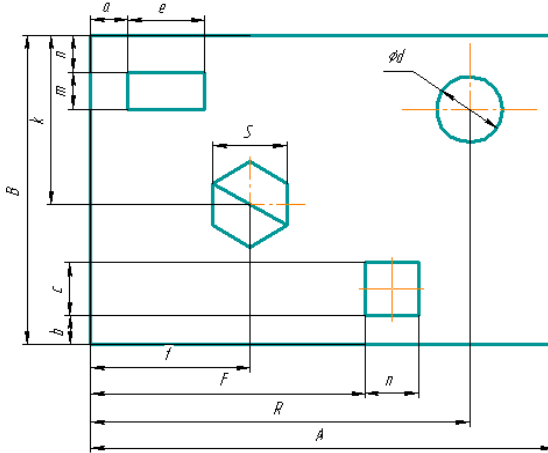


Рисунок 2.4 - Пластина 2

Таблиця 2.2 – Параметри деталі

Розмір	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
B	20	40	50	60	75	100
A	40	80	100	120	150	200
n	5	5	10	10	15	15
m	5	10	15	15	20	20
k	10	20	25	30	30	50
a	5	10	10	10	15	20
e	5	10	10	15	10	15
s	8	12	14	17	17	22
c	5	5	10	10	15	15
b	5	5	10	10	15	20
f	18	20	25	30	30	30
F	25	25	30	30	40	40
d	4	6	8	10	12	15
H	5	10	10	15	15	15
R	30	60	80	100	120	170

13-18. Визначити центр тиску штампа при пробиванні отворів (рис. 2.5) табл. 2.3

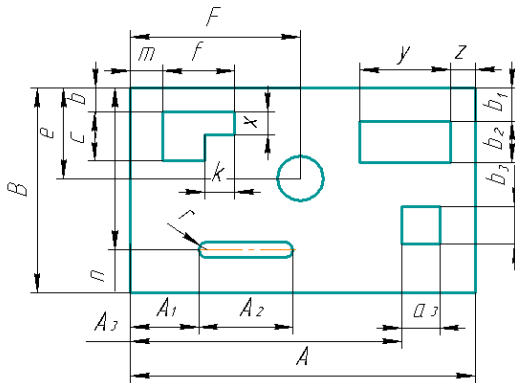


Рисунок 2.5 - Пластина 3

Таблиця 2.3 – Параметри деталі

Розмір	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
B	60	75	100	125	150	200
A	100	100	150	175	200	250
b	6	10	15	15	20	20
c	12	12	25	30	35	40
e	26	30	40	60	70	90
n	47	50	60	90	100	125
F	42	50	50	100	120	125
f	20	20	20	30	40	45
m	12	12	15	20	20	20
x	5	5	10	10	15	15
k	8	8	10	15	20	20
d	12	10	17	20	20	25
r	5	5	7,5	10	12,5	5
A ₁	20	20	25	30	35	40
A ₂	30	30	40	40	45	50
a ₃	8	8	10	15	20	25
A ₃	80	80	125	150	170	200
Y	20	20	25	30	30	30
Z	12	10	15	15	20	20
b ₁	10	12	15	15	20	25
b ₂	12	15	20	25	30	40
b ₃	7	10	20	15	20	30
R	33	40	80	100	120	100

3 ПЛИТИ ШТАМПІВ ТА ЇХ РОЗРАХУНОК

Плити штамів повинні мати раціональну металоємкість і достатню міцність для виконання технологічної операції. Плити вагою 61 кг слід оснащувати засобами для захоплення (запалювання) при транспортуванні: комплектами зйомних стержнів, які вставляють в глухі отвори плит; приливами та всілякими цапфами, крюками, римболтами, які закріплені на плитах за допомогою різьбових та інших сполучень.

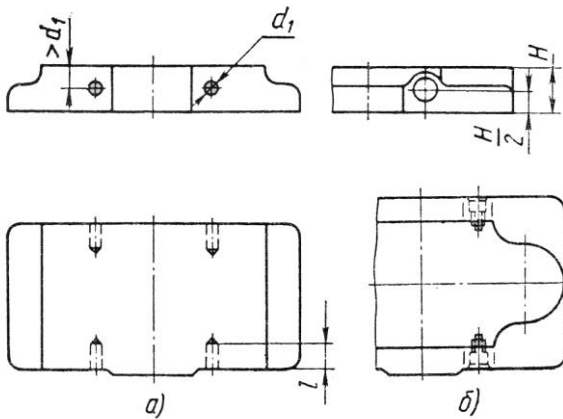


Рисунок 3.1 – Приклади розміщення отворів для транспортних штифтів в плитах штампа

Глибина отворів l (рис. 3.1, а) повинна бути не менше $2,5 d_1$, (табл. 3.1)

Найбільшу напругу в штирі визначають за формулою:

$$\sigma_{\max} = M/W \quad (3.1)$$

де $M = Ga/p$ - згинаючий момент, кгс-см (при умові, що навантаження рівномірно розподілене на p штифтів);

$W = 0,1 d^3$ - момент опору вигину круглого штиря відносно нейтральної осі, см^3 ;

G – вага штампа, кг;

a – плече в см; $a \sim 30 \dots 50$ мм (менше значення плеча приймається для штирів малого діаметра);

Запас міцності штиря $k = [\sigma_{зг}] / \sigma_{\max}$, де $[\sigma_{зг}]$ – допустима напруга на вигин для сталі, з якої виготовлені штирі.

Таблиця 3.1 – Розміри отворів в мм в плитах блока для транспортних штифтів

Максимальна вага штампа, т	d_1 , мм	ℓ	Рекомендований діаметр штифта d , мм	Примітка: 1. Діаметр штифтів d даний з урахув. 4-кратного запасу міцності при умові, що вони виготовлені зі сталі з доп. напруженнями на згин не менш 1500 кгс/см^2 і навантаження розділяє одночасно на 4 штирі. 2. Діаметри отворів для нижніх та верхніх плит однакові
0,2	17	50	16	
0,4	22	60	20	
0,7	26	70	25	
1,7	36	11	35	
2,5	41	0	40	

У крупних важких плитах роблять приливи часто у вигляді чотирьох виступів подовженої або круглої форми [5]. Ураховуючи те, що деталі, які видаються і на курсовий проект і на контрольні роботи відносяться до дрібного штампування в даному посібнику проектування приливів не розглядається.

Координати отворів для штирів в плиті вибирають в залежності від конфігурації плит і положення деталей і вузлів в штампі. В усіх штампах і особливо середніх і крупних необхідно забезпечувати взаємний збіг осей протилежних отворів, що дуже важливо для транспортування плити або штампа. Іноді отвори в плиті свердлять зі сторони полук, для чого передбачають міцні потовщення (рис 3.1, б).

Конструкції цапф, крюків, римболтів і штирів дуже різноманітні, найбільш розповсюджені наведені на рис. 3.2.

Одні з них працюють на розтягування і вигин гвинтів, інші на вигин і зріз гвинта або стержня. Діаметр гвинтів для кріплення транспортних елементів призначають по допущеному навантаженню у відповідності до ваги штампа.

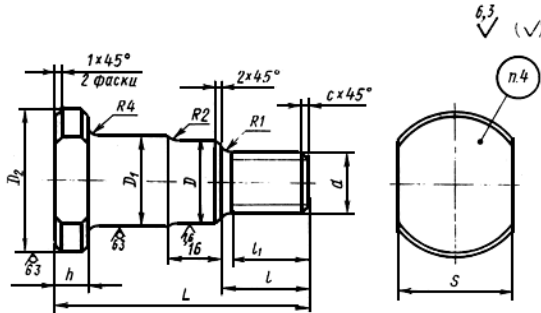


Рисунок 3.2 – Деталі для транспортування плит і з різьбовим кріпленням

Основні розміри штирів, які закріплюються горизонтально, наведені в табл. 3.2. Матеріал - сталь 45.

На практиці використовують і інші засоби транспортування штампів, але вони менше розповсюджені.

Таблиця 3.2 - Основні розміри штирів з різьбою в мм

Позначення	d	D (поле допуску е8)	D1	D2	L	l	l1	h	S(поле допуску h12)	c	Максимальне навантаження P, Н (кгс) не більше	Вага, кг, не більше
1097-0001	M12	16	17	28	56	18	16	8	24	1,6	1200 (120)	0,104
1097-0002	M16	25	26	40	71	25	22		32	2,0	2000 (200)	0,271
1097-0003	M20	28	30	45	85	32	30	10	36	2,5	3000 (300)	0,428
1097-0004	M24	32	34	50	100	36	32		41		5000 (500)	0,650
1097-0005	M30	36	38	56	120	45	42	10	46	3,0	7000 (700)	1,001
1097-0006	M36	42	45	63	125	50	46		50		11000 (1100)	1,423
1097-0007	M42	50	53	71	130	56	52		60		16500 (1650)	1,987

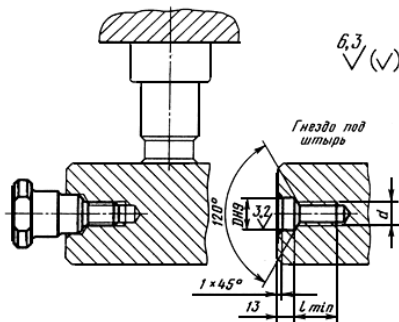


Рисунок 3.3 – Приклад застосування транспортних різьбових штирів

Таблиця 3.3 - Розміри у мм

d	D	l
M12	16	22
M16	25	28
M20	28	36
M24	32	38
M30	36	48
M36	42	52
M42	50	56

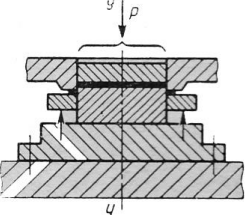
Вибір плит здійснюється за ГОСТ 13124-83, 13125-83, 13126-83, 21173-83 відповідно габаритів матриці (АхВ) раніше визначених.

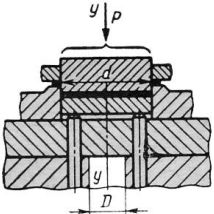
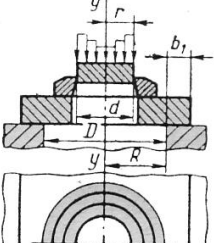
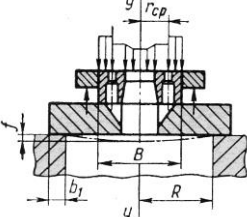
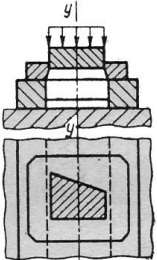
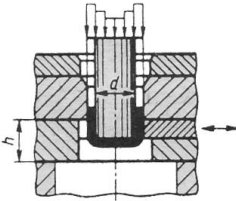
Розрахунок плит на міцність робиться тільки у випадках, коли виникає в цьому явна необхідність. Найбільшому деформуванню підлягає звичайно нижня плита, так як вона часто опиняється в більш несприятливих умовах, ніж верхня плита. В табл. 3.4 наведені основні види навантаження плит різних штампів.

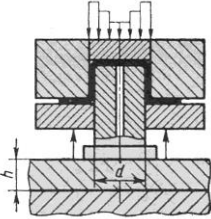
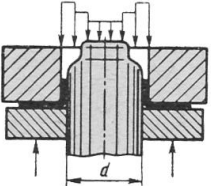
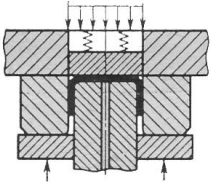
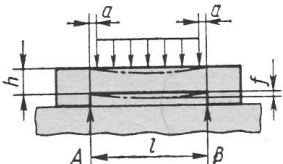
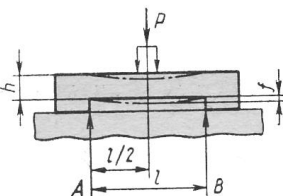
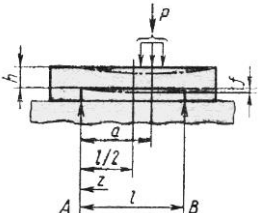
В залежності від конструкції підштампової плити і характеру технологічної операції нижня плита роздільного штампа може працювати в таких умовах.

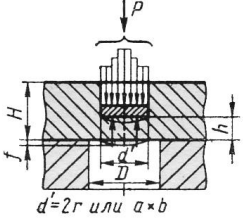
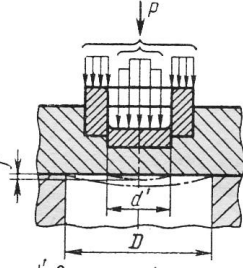
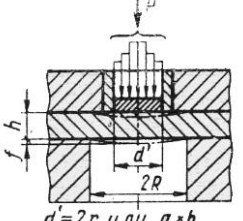
- суцільною опорою без провального отвору в підштамповій плиті преса (схема 1).
- провальним отвором Б в підштамповій плиті, розміри якого менше робочого контура d штампа (схема 2).
- Розміри отвору в підштамповій плиті В (або ахb) перевищують розміри робочого контура d (або В) штампа (схеми 3 і 4).

Таблиця 3.4 - Схеми навантаження нижніх плит в залежності від форми робочого контура, характеру навантаження і конструкції опори

1		<p>При суцільній нижній плиті без провального отвору в підштамповій плиті можлива будь-яка роздільова операція</p>
---	---	--

2		Вирізаємий контур більше отвору в підштамповій плиті
3		Діаметр ріжучого контура менше діаметра отвору в підштамповій плиті
4		Найбільший розмір ріжучого контура менше діаметра провального отвору в підштамповій плиті
5		Вирізана деталь або відхід видаляється зі штампу через вигрібний паз нижньої плити
6		Витяжка або протяжка циліндричного ковпачка через провальний отвір в підштамповій плиті

7		Витяжка циліндричної деталі з фланцем без правки
8		Розбортовка циліндричної деталі без правки фланця
9		Витяжка не круглої коробки без правки дна
10		Штамповка з правкою деталі (незалежно від характеру технологічної операції) по всій ширині наскрізної ніші нижньої плити
11		Штамповка з правкою, зосередженою в середині плити, має наскрізну нішу
12		Штамповка з правкою, зосередженою не по осі плити, має наскрізну нішу

13	 <p style="text-align: center;">$d=2r \text{ или } a \times b$</p>	<p>Плита з круглим глухим отвором, навантажена рівномірно розподіленою силою до «жорсткого» удару при наскрізному отворі плити преса</p>
14	 <p style="text-align: center;">$d'=2r \text{ или } a \times b$</p>	<p>Гладка плита, встановлена над круглим отвором, навантажена рівномірно розподіленою силою на ділянці, обмеженою площею $\pi d^2/4$</p>
15	 <p style="text-align: center;">$d=2r \text{ или } a \times b$</p>	<p>Гладка плита, встановлена над круглим отвором, навантажена рівномірно розподіленою силою по всій площі $\pi D^2/4$</p>

Плити навантажені за схемою 1 і 2 в більшості випадків не потребують проведення розрахунку, так як в точках дії сил плита не зазнає вигину. В окремих випадках при перевірочному розрахунку виходять з умови, що величина контактних напружень на поверхні плити не повинна перебільшувати допущену величину для даного матеріалу.

Плити, навантажені за схемами 3, 4 та 5 в точках дії ще не мають опори і не можуть вільно прогинатися. Схема. 5 найбільш несприятлива. При розрахунках по ній плиту розглядають як балку, яка вільно лежить на двох опорах. Зусиллям затяжки болтів, якими кріпляться штампи до пресу, нехтують.

На робочих контурах, які призначені для розділення матеріалу, навантаження розподіляється з деякою інтенсивністю рівномірно по

всьому ріжучому контуру (довжиною 1). Але прогин плити відбувається в основному тільки від сил, що діють на ділянках cd і ef . На ділянках ef і de , які розташовані вздовж опори (близько до краю), вплив діючих сил на прогин плити незначний, так як відстань a від ріжучого краю до опори складає 1-3 мм.

Основна формула для розрахунку:

$$M_{зг} = W[\sigma_{зг}] \quad (3.2)$$

де $M_{зг}$ - згинаючий момент в небезпечному перерезі плити вздовж осі (у-у), кгс см;

$[\sigma_{зг}]$ - допустима напруга на вигин матеріалу плити (табл. 3.2) в кгс/см²;

W - момент опору, см³.

При перевірці однієї ділянки перерізу плити.

$$W = bh^2/6; h = \sqrt{6M_{зг}/(b_1 + b_2)[\sigma_{зг}]} \quad (3.3)$$

Одночасно двох:

$$W = (b_1 + b_2)h^2/6; \\ h = \sqrt{6M_{зг}/(b_1 + b_2)[\sigma_{зг}]}, \quad (3.4)$$

Оскільки умови експлуатації штампів різні, то доцільно при розрахунку використовувати такі значення максимальних напруг, які установлені на основі дослідних даних для умов виробництва:

- Дрібносерійного $\sigma_{\max} = [\sigma_{зг}]/0,8$;
- Серійного $\sigma_{\max} = [\sigma_{зг}]$;
- Крупносерійного та масового $\sigma_{\max} = [\sigma_{зг}]/1,2$

Щоб визначити товщину h плити за формулою 3.1, необхідно спочатку визначити згинаючий момент в розрахунковому перерезі.

Для кожного випадку в залежності від форми, місця розташування робочого контуру преса будують розрахункову схему навантаження.

Таблиця 3.5 – Допустима напруга на згин матеріалу плити з урахуванням запасу міцності

Матеріал	Сталь 45	Сталь 35	Сталь 20Л	Сталь 35	Чавун СЧ 28-48	Чавун СЧ 24-44	Чавун СЧ 21-40	Чавун СЧ 18-36	Чавун СЧ 15-32
Термічна обробка	Поліпшення Нормалізація		Відпал						
[σзг] кгс/см ²	1750 1300	1550 1100	1150	1250	650	600	500		

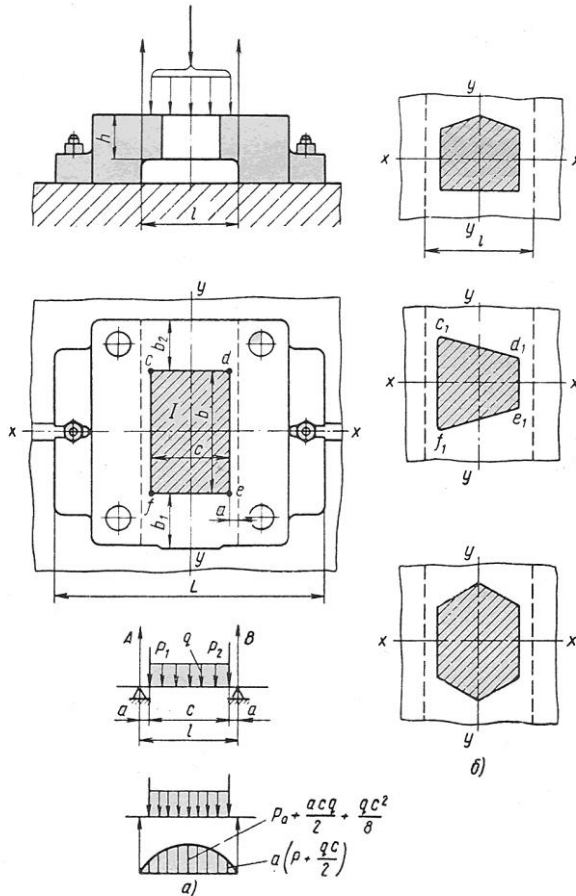


Рисунок 3.4 - До розрахунку плит з наскрізною нішею

Лінійні величини вимірюють в см, зусилля в кгс, згинаючий момент в кгс*см. У відповідності з цим установлюється розмірність інших похідних величин.

Формулу максимального згинаючого моменту для середнього перерізу плити (по осі у-у) легко вивести при ріжучому контурі простої форми. Наприклад, виведемо формулу найбільшого згинаючого моменту для плити з ріжучим контуром, що показаний на рис. 2.4, а.

Розрахунок ведемо відносно всього перерізу плити по осі у-у (з урахуванням ділянок довжиною b_1 і b_2). Ділянки робочого контуру cf і de паралельні розрахунковому перерізу і рівно віддалені від нього. Плита виконана з наскрізною нішею (за аналогією зі схемою табл. 3.1) [4].

Зусилля різання по всьому робочому контуру розподіляється рівномірно, але на двох ділянках cf і de навантаження приймається зосередженим (так як в розрахунковій схемі кожне навантаження проектується в точку):

$$P_1 = 1,25l_{cf}S\sigma_{cp}; \quad P_2 = 1,25l_{de}S\sigma_{cp};$$

Ділянки cf і de проектуються в одну лінію довжиною c . Навантаження залишається рівномірно розподіленим.

Сумарна середня інтенсивність на ділянках cf і de .

$$q = 1,25(l_{cd} + l_{fe}) S\sigma_{cp}/c$$

де l_{cf} , l_{de} , l_{cd} , і l_{fe} – довжини ділянок, см;

S – товщина матеріалу, який штампується, см;

σ_{cp} – напруга на зріз матеріалу, кгс/см².

Реактивні сили при $P_1 = P_2 = P$

Найбільший згинаючий момент (в перерізі у-у)

$$M_{зг\ max} = A(a=c/2) - Pc/2 - qc/2 * c/4 = (P+qc/2)(a+c/2) - Pc/2 - qc/2 * c/4,$$

звідки

$$M_{зг\ max} = Pa + acq/2 + c^2q/8., \quad (3.5)$$

На рис. 3.3, а наведена відповідна еюра згинаючих моментів, а на рис. 3.3, б – приклади робочих контурів, для яких плит з наскрізною нішею розраховують по наведеному методу (для прямокутного контуру).

При наявності декількох робочих контурів навантаження (зусилля), яке приходиться на кожен з них, накладається одне на друге, що ускладнює розрахунок. Тому слід використовувати метод

незалежності дії сил. Розрахунок зводиться до визначення згинаючих моментів від зусилля на кожному робочому контурі за допомогою елементарних схем навантаження. Сума всіх моментів відносно одного небезпечного перерізу плити (звичайно центрального по осі у-у) буде повним моментом, за яким знаходять товщину плити.

Приклад. Розрахувати штамп для пробивання з двома робочими контурами (рис. 3.4)

Вихідні дані: $c_1=cd=ef=21,6\text{см}$; $cf=cd=10\text{см}$; $c_2=qh=12\text{см}$; $qm=10\text{см}$; $mk=12,5\text{см}$; $hk=6,5\text{см}$; $b_1=12\text{см}$; $b_2=10\text{см}$; $b_3=14\text{см}$; $a_1=a_2=0,2\text{см}$; $a_3=6\text{см}$; $a_4=4\text{см}$; $l=22\text{см}$; h ?

Матеріал, що штампується: листова сталь товщиною $S=4\text{мм}=0,4\text{см}$, $\sigma_{\text{сп}}=3000\text{кгс/см}^2$

Матеріал плити штамп: перший варіант - чавун СЧ 21 - 40, $[\sigma_{\text{зг}}]=600\text{кгс/см}^2$; другий варіант сталь 35Л, $[\sigma_{\text{зг}}]=1250\text{кгс/см}^2$
Виробництво - крупносерійне.

Рішення: 1. Визначаємо зусилля по ділянкам і для всього 1 контура cdef.

$$P_{cd}=1,25 \cdot 21,6 \cdot 0,4 \cdot 3000=32400\text{кгс};$$

$$P_1=P_2=P_{cf}=P_{de}=1,25 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot 3000=15000\text{кгс};$$

$$P_{cd+ef+cf+de}=2(32400+15000)=94800\text{кгс}$$

2. Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження від двох ділянок cd і ef

$$\Phi=(P_{ca}+P_{eg})/c_1=(32400+32400)/21,6=3000\text{кгс/см}$$

3. Вигинаючий момент $M(y-y)_1$ навантаження P (рис. 3.4. схема.1)

$$M(y-y)_1=P_a+a_1q_1/2+c_1q_1^2/8=1500 \cdot 0,2+0,2 \cdot 21,6 \cdot 3000/2+3000 \cdot 21,6^2/8=184470\text{ кгс}\cdot\text{см}$$

4. Знаходимо моменти MP_1 і MP_2 , які необхідні для побудови епюри: $M_{P_1}=M_{P_2}=Aa$, де $A=P+Clq_1/2$ - реактивна сила.

$$M_{P_1}-M_{P_2}=(1500+21,6 \cdot 3000/2) \cdot 0,2=9480\text{ кгс}\cdot\text{см};$$

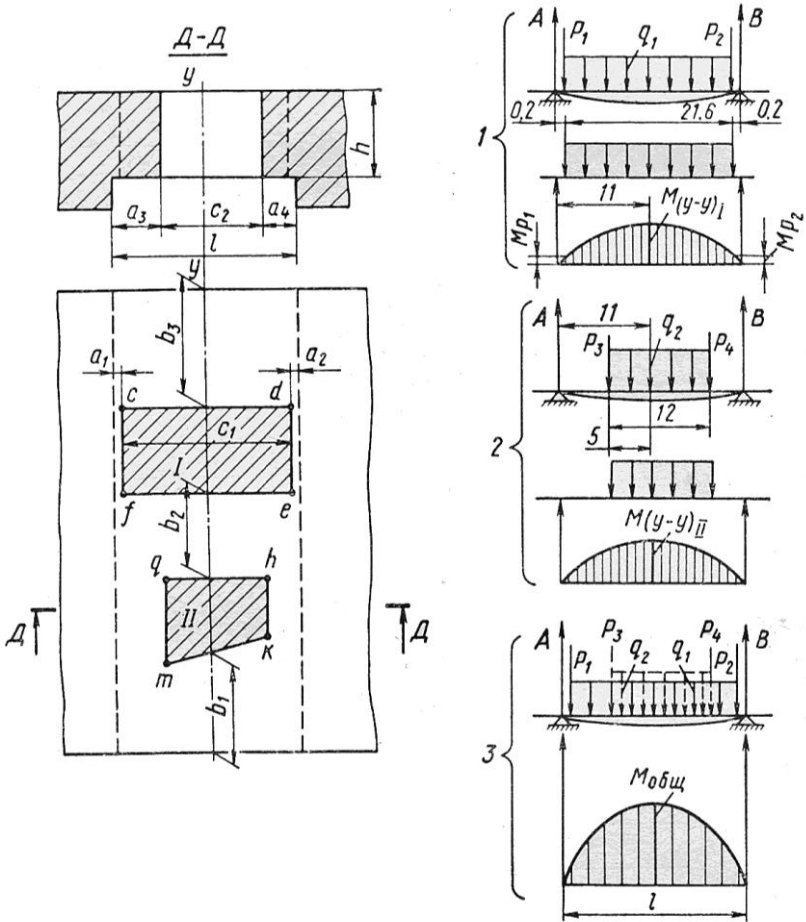


Рисунок 3.5 - До розрахунку плити з наскрізною нішею при двох робочих контурах

5. Визначаємо зусилля по ділянкам і для всього 2 контура q_{hk} :

$$P_{qh} = 1,25 \cdot 12 \cdot 0,4 \cdot 3000 = 18000 \text{ кгс};$$

$$P_{km} = 1,25 \cdot 12,5 \cdot 0,4 \cdot 3000 = 18750 \text{ кгс};$$

$$P_3 = P_{qm} = 1,25 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot 3000 = 15000 \text{ кгс};$$

$$P_{qh+mk+qm+hk} = 18000 + 18750 + 15000 + 9750 = 61500 \text{ кгс}$$

6. Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження від двох ділянок q_h і m_k

$$q_2 = (P_{gh} + p_{mk})/c_2 = (18000 + 18750)/12 = 3062,5 \text{ кгс/см}$$

7. Визначаємо вигинаючий момент $M_{(y-y)_2}$ (також у дентальному перерізі плити) від зусилля на контурі 2.

Розрахунок ведемо від сил, які діють справа від перерізу у-у. Але результат не змінюється, якщо розраховувати від сил, які діють зліва від перерізу у-у:

7а. Знаходимо величину реактивної сили B (схема 2) $\sum M_A = 0$

$$B \cdot 18 - q_2 \cdot 12 \cdot 12 - P_3 \cdot 6 = 0; B = (P_3 \cdot 18 + q_2 \cdot 12 \cdot 12 + P_3 \cdot 6) / 18 = (9750 \cdot 18 + 3062,5 \cdot 12 \cdot 12 + 15000 \cdot 6) / 22 = 32120 \text{ кгс.}$$

7б. Згинаючий момент $M_{(y-y)_2}$:

$$M_{(y-y)_2} = B \cdot 12 - q_2 \cdot 7 \cdot 3,5 = 32120 \cdot 12 - 9750 \cdot 7 - 3062,5 \cdot 3,5 = 208750 \approx 209000 \text{ кгс}\cdot\text{см};$$

7в. Для побудови епюри визначаємо згинаючі моменти M_{p3} і M_{p4} в перерізах, які співпадають з лініями їх дії.

$$M_{p3} = A \cdot 6; A = (P_3 \cdot 16 + q_2 \cdot 12 \cdot 10 + P_4 \cdot 4) / 1 = 29400 \text{ кгс}\cdot\text{см};$$

$$M_{p3} = 29400 \cdot 6 = 176400 \text{ кгс}\cdot\text{см}; M_{p4} = B \cdot 4 = 32120 \cdot 4 = 128480 \text{ кгс}\cdot\text{см}$$

7г. Будуємо епюру моментів $M_{(y-y)_2}$ на схемі 2.

8. Загальний момент $M_{заг}$. В перерізі плити, який співпадає з віссю у-у, від двох робочих контурів cdef і qhkm:

$$M_{заг} = M_{(y-y)_1} + M_{(y-y)_2} = 184470 + 209000 = 393470 \text{ кгс}\cdot\text{см}$$

9. Будуємо загальну епюру моментів (схема 3) підсумовуванням двох епюр (схеми 1 та 2) з дотриманням одного масштабу визначаємо приблизну величину згинаючого моменту в будь-якому перерізі плити при загальному навантаженні.

$$P_{заг} = 94800 + 61500 = 156300 \text{ кгс};$$

$$[\sigma_{зг}] / 1,2 = M_{заг} / W; W = (b_1 + b_2 + b_3) h^2 / 6 = (12 + 10 + 14) h^2 / 6 = 6 h^2$$

Після підстановки значень $M_{заг}$ і розраховуємо товщину плит із чавуна СЧ 21 -40:

$$600 / 1,2 = 393470 / 6h^2 \quad h = \sqrt{\frac{393470 \cdot 1,2}{600 \cdot 6}} = 11,45 \text{ см} = 115 \text{ мм}$$

зі сталі 35Л

$$1250 / 1,2 = 393470 / 6h^2 \quad h = 7,92 \text{ см} = 80 \text{ мм.}$$

Зусилля у роздільному штампі, необхідні для пробивання відносно малих отворів ($d/1 \leq 10$, де d - діаметр чи найближча сторона некруглого отвору, а ℓ - відстань між опорами в плиті), ураховуються як зосереджені навантаження.

Розглянемо схеми 3 і 4 (табл. 3.3). Плита блоку не має наскрізної ніші, тому при навантаженні спостерігається деформація не по всьому

перерізу, а локалізовано - в середній частині (місцеве випинання). Для розрахунку рекомендується використовувати не порівняння вигинаючого моменту (3), а порівняння пружної лінії, яке ураховує найбільший прогин. В цьому випадку збільшення розміру b_1 плити схема 3 і табл. 3.3) суттєво не впливає на величину прогину.

Структура порівнянь прогину за даною схемою, як і для багатьох інших схем навантаження, при виконанні формозмінюючих операцій відповідає загальноприйнятій [4]. Але всі порівняння відкоректовані з урахуванням ударного навантаження і коефіцієнта динамічного η_d , приближене значення якого визначають за формулою:

$$\eta_d \approx v / \sqrt{a[f_{cm}]}, \quad (3.6)$$

де v - швидкість повзуна в момент здійснення операції, см/с

$v = 0,105 Rn$;

R - радіус кривошипу, см;

n - кількість ходів повзуна за хвилину;

$[f_{cm}]$ чи $f_{доп}$ - допустима величина статичного прогину плити, см;

a - прискорення повзуна в момент здійснення операції,

$$a_{max} = \omega^2 R(1 + \lambda)$$

де $\omega = \pi n / 30$ - кутова швидкість кривошипу (постійне для даного преса число);

$\lambda = R/L$ - коефіцієнт;

L - довжина шатуна, см.

Максимальна величина a відповідає нижньому положенню повзуна.

Коефіцієнт динамічності η_d , показує, у скільки раз прогин плити при ударному навантаженні (швидкість повзуна v) більше прогину при статичному навантаженні.

Крім того, при розрахунку прогину товстих пластин за порівняннями прогину тонких пластин вводять деякий поправочний коефіцієнт k . Іноді із-за особливостей конструкції плит штампів він ураховується як середнє значення між значеннями для зароблених (затиснених) пластин і пластин, що вільно лежать на опорах.

На основі формули (3.6) і відомих рекомендацій відносно кривошипних пресів можна встановити середню величину добутку цих коефіцієнтів.

При підрахунку коефіцієнту динамічності приймали $V_{max} = 10..20$ см/сек, $a = 600-800$ см/сек²; $F_{доп} = 0,025$ см при діаметрі отвору в

підштамповій плиті 20-30 см. Після підстановки цих величин у формулу (1.6) знаходимо $\eta \approx 4,7$. Всі формули наведені з урахуванням $\eta k \approx 5,5$, де $k = 1,17..1,18$. Товщину плит при навантаженні за схемами 3 і 4 в табл. 3.3 розраховують за формулою:

$$h = \sqrt[3]{\frac{C_1 P R^2}{E f_{\max}}}, \quad (3.7)$$

де P -зусилля, яке необхідне для виконання роздільної операції при ріжучому контурі діаметром $2r_{cp}$, який розташований в центрі отвору плити, кгс;

R - радіус отвору плити, см;

E - модуль пружності першого роду для сталевих відливок і прокату $E = 1,8 \cdot 10^6$ кгс/см², для чавунних відливок $E = 1,2 \cdot 10^6$ кгс/см²;

f_{\max} -найбільша величина прогину плити на краях отвору, см;

C_1 - поправочний коефіцієнт, який ураховує коефіцієнт динамічності, значення його наведені нижче:

r/R	1,25	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
C_1	2,0	2,7	4,0	4,3	4,2	4,1

для тих же схем, але без загального центрального отвору (для виймання відходів) в нижній плиті штампа

$$h = \sqrt{\frac{9P(m^2-1)}{\pi E m^2 f_{\max}} \left[\frac{(3m+1)R^2 - (m-1)r^2}{2(m+1)} - r^2 (\ln R / r + 1) \right]} \quad (3.8)$$

μ -коефіцієнт Пуассона, середнє значення його для сталей 0,25 і для чавуну 0,3;

f_{\max} -максимальний прогин плити, який приймається приблизно рівним (25-50)% $f_{\text{доп}}$, що забезпечує сприятливі умови для її роботи.

Допустиму величину прогину плити $f_{\text{доп}}$ можна визначити за формулою:

$$f_{\text{доп}} = \rho = 1/2 \sqrt{4\rho^2 - (2R)^2}$$

де ρ - допустимий радіус кривизни плити при вільному прогині

$$\text{в } \rho = h_{\text{умов}}/2\varepsilon \quad (3.9)$$

ЛІТЕРАТУРА

Навчально-методичні розробки:

1. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 Прикладна механіка, освітня програма обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування.

2. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина I /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 26 с.

3. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина II /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 24 с.

4. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина III /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 35 с.

5. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, освітня програма «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2024. – 38 с. 87

Літературні джерела:

1. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штaмп

як об'єкт проектування: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2005. – 216 с.

2. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування розділових штампів: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2006. – 274 с.

3. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування штампів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2010. – 322 с.

4. Боков В.М., Мірзак В.Я. Технологія холодного штампування. Курсове проектування. Листове штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград. Поліграфічно-видавничий центр ТОВ "Імекс-ЛТД". 2010. – 250 с.

5. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Практикум: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2005. – 132 с.

6. Боков В. М. Проектування штампів: підручник / В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 364 с.

7. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил

8. Динер И. Г., Брун В. Я. Высокоэффективная оснастка для листовой штамповки. – К.: Техніка, 1984. – 136 с., ил.

9. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 3. Холодная объёмная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. 1987. – 384 с., ил.

10. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с., ил.

11. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. М.: Машиностроение, 1980. – 431 с.

12. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. /Под общ. ред. Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

13. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://nbuv.gov.ua> – Національна бібліотека імені В.І. Вернадського.
2. <https://books.google.com.ua> – Сервіс повнотекстового пошуку по книгам, що оцифровані компанією Google.
3. <https://files.fti.dp.ua/book/kholodne-lystove-shtampuvannia>