

УДК 621.983.07

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
БАЗОВИХ ПЛИТ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ШТАМПІВ**

*Жолткевич М.Д., д.т.н., с.н.с., Кравченко С.І., к.т.н., доц.,
Носенко О.Г., асистент.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка*

проспект Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава, Україна

E-mail: k54@pntu.edu.ua

Розглядається задача визначення зон і величин контактної взаємодії в переналагоджуваних штампах залежно від габаритних розмірів контактуючих тіл і способу прикладення навантаження.

Ключові слова: переналагоджуваний штамп, тиск, навантаження.

Вступ. Існуючі штампи для листового штампування мають широке використання для виготовлення деталей різноманітної конфігурації. Особливе місце серед них займають переналагоджувальні штампи, які дозволяють досягати максимального техніко-економічного ефекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкції переналагоджуваних штампів для листового штампування дозволяють виготовляти деталі різних конфігурацій, товщини і габаритів в діапазоні певних типорозмірів [1]. При цьому в кожному випадку здійснюється заміна робочих частин штампу, що закріплюються по розробленій методиці у відповідних пакетах, а використовуваний блок з преса не знімається, знаходячись в експлуатації тривалий час, аж до виникнення відмов або проведення профілактичного ремонту. При такому режимі досягається максимальна техніко-економічна ефективність використання переналагоджуваних штампів. Проте їх блоки досить тривалий період піддаються істотним навантаженням циклічного характеру, що може привести до виходу не тільки блоку, але і штампу в цілому. Жорсткість і міцність блоку здійснюють вплив на якість і точність штампованих деталей.

Постановка завдання. Дослідження напружено-деформованого стану і розрахунки на міцність базових плит блоків переналагоджуваних штампів

набувають важливого значення. Для виконання розрахунків і досліджень при розробках нових конструкцій необхідно знати величину і розподіл зовнішніх навантажень, які діють на плити в процесі експлуатації переналагоджуваних штампів і, по суті, є контактними тисками між плитами і деталями преса і штампу.

При розділових і формозмінюючих операціях в переналагоджуваних штампах відбувається силова (контактна) взаємодія в системі прес-блок-пакет. Знання зон і величин контактної взаємодії залежно від габаритних розмірів контактуючих тіл і способу прикладення навантаження необхідне як при проектуванні нових конструкцій штампів, так і для правильного вибору вже існуючих умов експлуатації.

Основний матеріал і результати. З боку пакету навантаження на нижню плиту блоку передається за допомогою спеціальної нижньої підкладки, яка в зібраному пакеті виступає над його площиною на 0,1-0,2 мм.

В процесі дослідження вивчалася контактна взаємодія нижніх плит блоків переналагоджуваних штампів з підштамповими плитами пресів залежно від розмірів плит блоків в плані $A \times B$, їх товщина H і діаметру провальних вікон пресів d . Конструктивні параметри плит, що досліджувалися, в міліметрах приведені в таблиці 1, де D - зовнішній діаметр підкладки пакету, через яку передається зусилля на нижню плиту блоку; $m \times n$ - розміри провального вікна плити блоку; P - розрахункове зусилля штампування.

Таблиця 1 – Вихідні конструктивні і експлуатаційні параметри

Позначення параметра	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	250	280	280	280	280	280	320	360	400	560
B	230	250	250	250	250	250	280	310	350	420
H	40	45	60	15	30	75	50	50	55	60
d	130	170	170	170	170	170	170	240	240	240
D	80	100	100	100	100	100	130	162	218	308
m	36	48	48	48	48	48	63	70	90	212
n	53	71	71	71	71	71	95	120	140	212
$P, \text{кН}$	280	250	250	250	250	250	500	850	850	850

Визначення зовнішніх навантажень на базові плити з боку підштампових плит пресів є контактним завданням теорії пружності, яка при даних вихідних параметрах і граничних умовах практично недоступна для аналітичного вирішення навіть у разі зведення її до осесиметричної. Тому використаний метод граничних інтегральних рівнянь з числовою реалізацією по методу механічних квадратур.

По методу граничних інтегральних рівнянь вихідні диференціальні рівняння Навьє замінені інтегральною тотожністю, сформульованою для пружних переміщень [2]

$$U_i(P) = -\int T_{ij}(P, Q) \cdot U_j(Q) dS + \int U_{ij}(P, Q) \cdot t_j(Q) dS, \quad (1)$$

де S - межа пружного тіла V ; $U_i(P)$ - вектор переміщення довільної точки $P \in V$;

$U_j(Q)$, $t_j(Q)$ - граничні значення переміщення і напруги відповідно;

$U_{ij}(P, Q)$, $T_{ij}(P, Q)$ – ядра-функції, що дають значення компонент векторів переміщення і напруги у напрямі j точки Q , від дії єдиної сили, прикладеної в точці P у напрямі i .

При прагненні внутрішньої точки P даної області V до точки межі P початкове рівняння (1) переходить в систему інтегральних рівнянь, що зв'язує переміщення точок межі і прикладене поверхневе навантаження

$$C_{ij}(P) \cdot U_j(P) + \int T_{ij}(P, Q) \cdot U_j(Q) dS = \int U_{ij}(P, Q) \cdot t_j(Q) dS, \quad (2)$$

де $C_{ij}(P)$ - деякий коефіцієнт для точок гладкої межі, рівний $0,5\delta_{ij}$; δ_{ij} - символ Кронекера.

Співвідношення (2) є вирішуваною системою сингулярних інтегральних рівнянь. Подальше використання методу механічних квадратур [3] приводить задачу до системи вирішуючих лінійних алгебраїчних рівнянь виду

$$([0,5\delta_{ij}] + [\Delta T_{ij}]) \{U_j\} = [\Delta U_{ij}] \{t_j\}, \quad (3)$$

де $\{U_j\}$, $\{t_j\}$ – вектора граничних переміщень і зусиль; $[\Delta T_{ij}]$ $[\Delta U_{ij}]$ – коефіцієнти матриці системи, які отримуються інтегруванням ядер T_{ij} і U_{ij} по відрітку межі.

При вирішенні поставленої задачі були введені спрощення реальної конструкції блоків: прямокутні плити апроксимувалися круглими, прямокутний центральний отвір замінений колом. В якості граничних умов використовувалася схема вільного спирання нижньої плити блоку на підштампову плиту преса

(співвісно з провальним отвором). У зв'язку з жорстким кріпленням нижньої підкладки до пакету, відносно невеликою зоною сполучення з плитою і конструктивними особливостями штампів характер розподілу навантаження 1 від пакету до нижньої базової плити 2 прийнято лінійним, як показано на схемі (рисунок 1), де 3 - підштампова плита преса. Розрахункові конструктивні параметри в міліметрах приведені в таблиці 2.

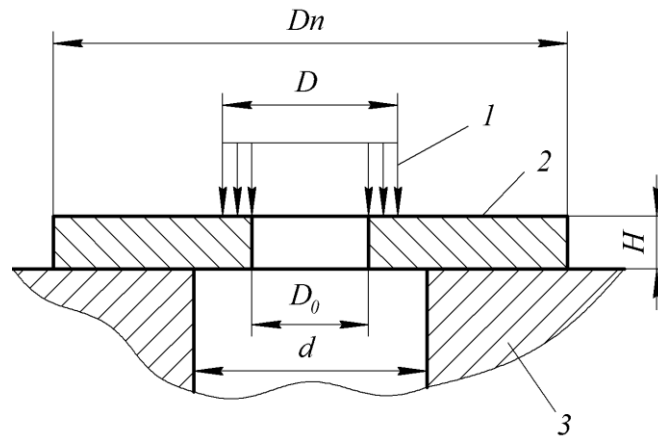


Рисунок 1 – Розрахункова схема нижньої плити блока

Розрахунок десяти варіантів, вказаних в таблиці 2, дозволив визначити розміри зон, величину і характер розподілу контактних тисків, а також з'ясувати вплив товщини базових плит і діаметрів провальних отворів пресів на характеристики контактної взаємодії.

Таблиця 2 – Розрахункові конструктивні параметри

Позначення параметра	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_n	270	300	300	300	300	300	340	380	420	550
H	40	45	60	15	30	75	50	50	55	60
d	130	170	170	170	170	170	170	240	240	240
D	80	100	100	100	100	100	130	162	218	308
D_0	49	66	66	66	66	66	87	103	127	212

На рисунку 2 наведені графіки розподілу нормальних контактних напружень σ_k в зонах зіткнення нижніх плит блоків з підштамповими плитами пресів при штампуванні в переналагоджуваних штампах 2, 3, 4, 5 і 6^{ГО} типорозмірів, позначених варіантами 1, 2, 7, 8 і 9 відповідно. На графіках для зручності їх використання контактний тиск віднесений до прикладеного навантаження P .

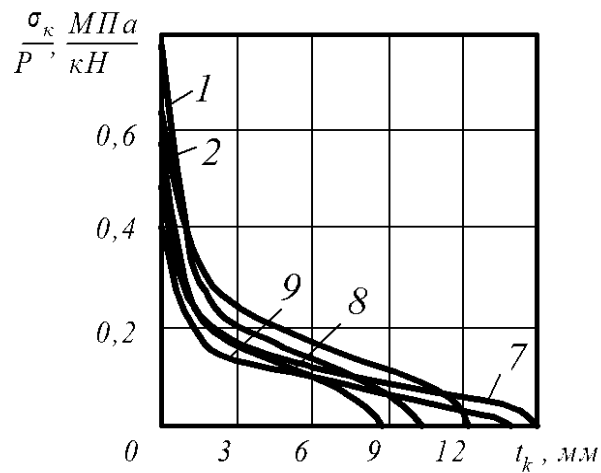


Рисунок 2 – Розподіл контактних напружень вздовж площини контакту

Для визначення величини контактної тиску при конкретному зусиллі штампування необхідне значення цього зусилля в кН помножити на відповідну ординату з графіка.

Для розрахунку контактної тиску отримані криві апроксимовані залежністю

$$\sigma_k = -10 \cdot (C_1 \sqrt{l} + C_2 l + C_3) / K, \quad (4)$$

де l - поточна координата точки на контактному майданчику, мм; σ_k - контактний тиск у відповідній точці, МПа; K - коефіцієнт, рівний відношенню P_{max}/P_δ ; P - розрахункове зусилля штампування для певного типорозміру переналагоджуваних штампів (значення приведені в таблиці. 1); P_δ - докладене зусилля штампування; C_1, C_2, C_3 - коефіцієнти, вказані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти апроксимації (4)

Коефіцієнти	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_1	-9,76	-7,46	-3,38	-94,43	-21,76	-2,17	-10,82	-21,54	-15,2	-2,41
C_2	1,02	0,67	0,28	42,14	-0,98	0,18	1,11	0,94	1,57	0,48
C_3	21,61	16,78	9,56	45,7	44,2	6,38	25,16	51,3	34,0	9,91

Формула (4) справедлива для базових плит переналагоджуваних штампів розглянутої конструкції при зусиллях штампування P_δ $0 < P_\delta \leq P_{max}$, і має сенс на площі контакту l_k $0 < l \leq l_k$ де $l_k = C_3$, тобто при $l = l_k, \sigma_k = 0$ а при $l = 0$ (на кромці провального вікна підштампової плити преса) $\sigma_k = \sigma_{kmax}$

Як показали дослідження, довжина площі контакту l_k не залежить від величини зусилля, що додається, і визначається геометричними розмірами базових плит і провального вікна підштампової плити преса. Фізично це явище можна пояснити таким чином. При збільшенні зусилля на плиту, лежачу над провальним отвором, її прогин збільшується і площа контакту повинна зменшуватися. Проте в цей же час обидва контактуючі пружні тіла зближуються, збільшуючи зону контакту, що і компенсує зменшення площі плити, що прогинається.

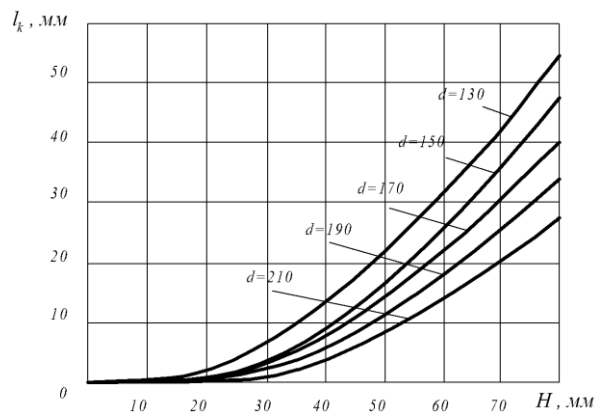


Рисунок 3 – Вплив товщини плити на величину зони контакту

Залежність довжини площі контакту від товщини базової плити показана на рисунку 3. Розглядалися нижні плити блоків $3^{\Gamma O}$ типорозміру різної товщини, тобто варіанти 2, 3, 4, 5, 6. Виходячи з графіків, довжина площі контакту (ширина поясочка контакту навколо провального отвору підштампової плити преса) плавно збільшується при збільшенні товщини плити. При збільшенні діаметру отвору в основі площа контакту зменшується, що видно з графіків, наведених на рисунку 4.

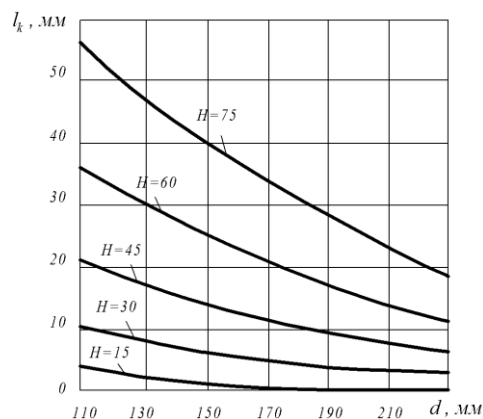


Рисунок 4 – Вплив діаметра провального отвору столу преса на величину зони контакту

Для отримання аналітичних залежностей криві, наведені на рисунках 3, 4, апроксимувалися квадратичними функціями

$$l_k(H) = a_1 H^2 + a_2 H + a_3; \quad (5)$$

$$l_k(d) = \epsilon_1 d^2 + \epsilon_2 d + \epsilon_3; \quad (6)$$

де $a_1, a_2, a_3, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ - коефіцієнти апроксимацій, наведені в табл. 4, 5.

Таблиця 4 – Коефіцієнти апроксимації (5)

Коефіцієнти	$d, \text{ мм}$				
	130	150	170	190	210
a_1	$7,7 * 10^{-3}$	$7,7 * 10^{-3}$	$0,75 * 10^{-3}$	$7,03 * 10^{-3}$	$6,2 * 10^{-3}$
a_2	$9,3 * 10^{-2}$	$-3,6 * 10^{-2}$	$-11,7 * 10^{-2}$	-0,16	-0,15
a_3	-2,28	-0,55	0,56	1,17	1,025

Таблиця 5 – Коефіцієнти апроксимації (6)

Коефіцієнти	$H, \text{ мм}$				
	15	30	45	60	75
ϵ_1	$0,094 * 10^{-4}$	$4,53 * 10^{-4}$	$1,03 * 10^{-3}$	$1,16 * 10^{-3}$	$1,41 * 10^{-3}$
ϵ_2	-0,012	-0,209	-0,484	-0,604	-0,772
ϵ_3	2.2	26,05	63,04	90,33	124,5

Висновки. Залежності (5), (6) отримані за наслідками варіювання діаметрів отворів в пресах і товщини нижніх плит блоків $3^{\Gamma 0}$ типорозміру, проте як показали подальші розрахунки, ширина контактної поясочки практично не залежить від розмірів плити в плані. Отже, вирази (5), (6) можна застосовувати для базових плит переналагоджуваних штамів всіх типорозмірів, а також для плит інших видів штампів аналогічних конструкцій з подібними експлуатаційними умовами.

Таким чином, залежності (4), (5), (6) дозволяють визначити величини і розподіл навантажень, що діють на нижні плити блоків переналагоджуваних штампів, що дає можливість в нових розробках проводити розрахунки плит на міцність, жорсткість і вибирати оптимальні конструктивні параметри, що забезпечують при мінімальній металоємності їх необхідну довговічність і надійність в експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жолткевич Н. Д., Горницкий А. Л. Типовые конструкции обратимых штампов . – Кузнечно-штамповочное производство, 1995, № 4, с. 5-10.

2. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике. - М.: Мир, 1982, с. 247.
3. Партон В.З., Перлин П.И. Интегральные уравнения в теории упругости. – М.: Наука, 1977. – 311 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЗОВИХ ПЛИТ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ШТАМПОВ

Жолткевич Н.Д., д.т.н., с.н.с., Кравченко С.И., к.т.н., доц.,

Носенко О.Г., ассистент.

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия
Кондратюка*

проспект Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава, Україна

E-mail: k54@pntu.edu.ua

Рассматривается задача определения зон и величин контактного взаимодействия в переналаживаемых штампах в зависимости от габаритных размеров контактирующих тел и способа приложения нагрузки.

Ключові слова: переналаживаемый штамп, давление, нагрузка.

INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE BASE PLATE REUSABLE STAMPS

Gholtkevych N.D., Doctor of Engineering, Senior Research Assistant,

Kravchenko S.I., Candidate of Science, assistant professor,

Nosenko O.G., assistant.

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University

Pershotravnevy Avenue, 24, 36011, Poltava-town, Ukraine

E-mail: k54@pntu.edu.ua

The problem of determining areas and the contact interaction in reusable stamps depending on the dimensions of contacting bodies and the way the load is applied.

The Key Words: readjusted stamp, the pressure, loads.