УДК 621.01:681.3

МЕХАНІЗМ ПРИВОДУ НАТИСКНОЇ ПЛИТИ ПЛОСКОГО ШТАНЦЮВАЛЬНОГО ПРЕСА

Я. О. Шахбазов, О. Ю. Четербух, В. В. Широков, О. О. Паламар

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Роз'яснено суть процесу штанцювання розгорток картонного паковання. Описано основні способи виготовлення картонних розгорток. Перераховано переваги та недоліки плоского штанцювання, порівняно з плоскоциліндровим і ротаційним способами. Пояснено одну з основних проблем при удосконаленні розклинювальних механізмів, а саме забезпечення строго вертикального переміщення натискної плити. Виконано аналіз існуючих розклинювальних механізмів з наведенням їх переваг і недоліків. Розроблений та рекомендований новий розклинювальний механізм приводу натискної плити плоского штанцювального преса. Наведено схему пропонованого механізму та опис його принципу роботи. Подано теоретичні розрахунки технологічного навантаження процесу штанцювання картонних розгорток та величини рушійної сили, яка виникає в розклинювальному механізмі. Перераховано переваги пропонованого розклинювального механізму порівняно з іншими.

Ключові слова: *штанцювання, картонне паковання, розклинювальний механізм, плоске штанцювання, нижня рухома натискна плита, технологічне навантаження, рушійна сила, переваги.*

Постановка проблеми. Картонне пакування є найкращим та найпопулярнішим у світі засобом для зберігання та транспортування товарів. Картон використовують для виготовлення орієнтовно 70 % транспортної та приблизно 30 % споживчої тари, який не має обмеженого терміну використання, не забруднює довкілля, а також має естетичний вигляд і необхідну міцність. Виробництво картонного паковання потребує виконання комплексу технологічних операцій, призначених для формування заготовок і перетворення їх у складені паковання. Існує декілька способів виготовлення картонних розгорток: штанцюванням, вирубуванням, вирізуванням. Штанцювання передбачає технологічні операції, які призначені для ущільнення волокна картону, формування ліній згину (нанесення бігувальних ліній), розділення волокна методом його руйнування та утворення конфігурації розгортки [1].

Для виробництва розгорток картонного паковання широкого використання набули преси плоского танцювання таких фірм, як BOBST (Швейцарія), Heidelberg (Німеччина), Rluge (Англія), Poligraf-KAMA (Німеччина) та ін. Штанцювальні преси такого типу значно продуктивніші, аніж тигельні, а тому їх ефективно

використовують для виготовлення середньо- та великотиражної продукції. Їх швидкість роботи сягає 4000–8000 арк/год [2].

Удосконалення та спрощення конструкцій механізмів приводу натискної плити плоских штанцювальних пресів є одним із основних питань для ефективного та раціонального використання ресурсів, причому необхідно забезпечити натискній плиті строго вертикальне переміщення протягом робочого та холостого ходів, що впливає на якість штанцювання картонних розгорток, стабільність функціонування штанцювального преса та, відповідно, на продуктивність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Виконані дослідження [3, 4, 5, 7, 8] з цієї тематики присвячені удосконаленню розклинювальних механізмів приводу рухомої натискної плити плоских штанцювальних пресів, розробленню принципово нових розклинювальних механізмів, формуванню теоретичних основ для забезпечення якісного виготовлення картонного паковання. Одним із основних завдань під час розроблення нового розклинювального механізму є забезпечення строго вертикального переміщення натискної плити, тобто унеможливлення коливного руху натискної плити у процесі робочого та холостого ходів. Цю проблематику вивчають багато наукових працівників з усього світу.

Так у джерелі [3] у розклинювальному механізмі приводу нижньої рухомої натискної плити плоского штанцювального преса для забезпечення строго вертикального переміщення натискної плити протягом робочого та холостого ходів і рівномірного розподілення технологічного навантаження під час операції штанцювання картонної заготовки використовується кулачковий механізм. Однак така конструкція розклинювального механізму ускладнює налагодження та обслуговування штанцювального преса. Також науковці Української академії друкарства розробили та рекомендували різноманітні конструкції розклинювальних механізмів, які забезпечують строго вертикальне переміщення натискної плити плоского штанцювального преса. Так, наприклад, для дотримання паралельності рухомої натискної плити до штанцювальної форми, упродовж всього циклу переміщення, запропоновані приводи натискної плити з комбінованими зубчасто-важільними розклинювальними механізмами [4, 5]. Ці дослідження спрямовані на усунення недоліків несинхронного переміщення натискної плити, проте через використання зубчастих передач в цих механізмах вони значно дорожчі у виготовленні та експлуатації.

Мета статті — розробити конструкцію розклинювального механізму приводу нижньої рухомої натискної плити плоского штанцювального преса, навести теоретичні розрахунки технологічних навантажень, які виникають у процесі штанцювання картонних заготовок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відомі три основні способи виготовлення картонних розгорток: штанцюванням, вирізуванням та вирубуванням.

Штанцювання — найпоширеніший на сьогодні спосіб виготовлення паковань, який характеризується формуванням контурів картонної розгортки шляхом ножового розділення його волокон. Вирізувальний метод — різання картонної заготовки

за принципом ножиць. Вирубний спосіб здійснюється зрізуванням комплектом плоских інструментів (ніж та протиніж) [6].

За формою контактуючих поверхонь обладнання для виготовлення картонних розгорток поділяється на тигельне (плоске), плоскоциліндрове та ротаційне. Плоске штанцювання забезпечує найвищу якість виготовлення продукції, оскільки в пресовій парі дві складові плоскі, що унеможливлює спотворення картонної розгортки при створенні тиску. Порівняно з ротаційним способом, виготовлення штанцювальної форми менш затратне, а продуктивність, порівняно з плоскоциліндровим, висока (до 8000 арк/год). Недоліком такого способу є значні технологічні навантаження, що пов'язані з одночасним контактом усіх інструментів штанцювальної форми з картонною заготовкою.

Світова практика експлуатації штанцювального обладнання демонструє, що найпопулярнішим способом штанцювання картонних розгорток є плоский. Висока якість виготовлення продукції та задовільна, для більшої кількості тиражів, продуктивність є перевагами такого способу порівняно з його несуттєвими недоліками.

Проблема удосконалення розклинювального механізму приводу рухомої натискної плити у плоскому штанцювальному пресі висвітлена у працях [7, 8]. У публікації [7] на основі проведеного кінематичного аналізу розклинювального шарнірно-важільного механізму встановлено, що робота такого механізму має недоліки, які пов'язані з характером руху натискної плити. На основі результатів проведених досліджень [7] запропоновано розклинювальний механізм з кулачковим приводом (рис. 1). Цей механізм характерний тим, що кулачки, які обертаються навколо осі O, мають дві контактуючі поверхні — пряму та зворотну. Ролики A (A') та C (C') двоплечого коромисла ABC (A'B'C') контактують з профілями кулачків та приводять в рух натискну плиту через верхні коромисла *AD (A'D')* [3].

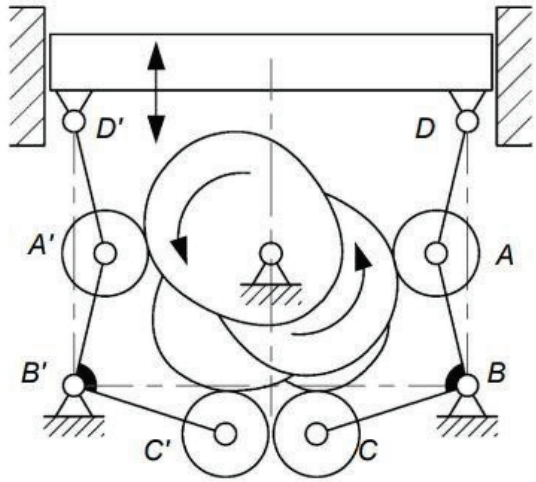

Рис. 1. Розклинювальний механізм

У проведеній праці [7] визначено матеріал для виготовлення привідних кулачків, зазначено, що найоптимальнішим матеріалом є конструкційна сталь *40CrMO*. Результати досліджень вказують на те, що застосування такого механізму забезпечує переміщення правої та лівої частини натискної плити без коливань та з меншим пришвидшенням. Розроблений розклинювальний механізм вирішує проблему, пов'язану з коливним рухом натискної плити, але недоліком такого механізму є складність виготовлення кулачків, які мають два контактуючі профілі, що потребує високої точності їх виготовлення, а також займають значну частину конструкції преса [3].

Із врахуванням недоліків відомих конструкцій розклинювальних механізмів плоских штанцювальних пресів на кафедрі комп'ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництв розроблена та запропонована нова конструкція механізму приводу натискної плити плоского штанцювального преса для виготовлення розгорток картонних паковань, схема якого подана на рис. 2.

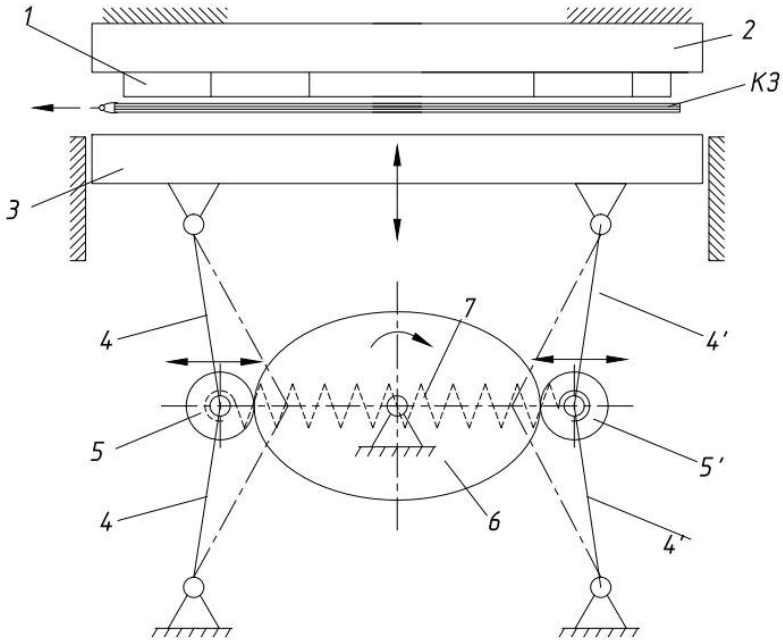

Рис. 2. Схема розробленого та пропонованого розклинювального механізму

Картонна заготовка КЗ (рис. 2) подається на нижню рухому натискну плиту 3, яка здійснює вертикальне переміщення, по напрямним (на рисунку не зображено) до контакту з штанцювальною формою 1, яка зафіксована на нерухомій опорній плиті 2. У рух розклинювальний механізм приводить електродвигун (на рисунку не зображено), обертовий рух від якого передається на вал із кулачком 6. Із кулачком 6 за допомогою пружини розтягу 7 в постійному контакті перебувають ролики 5 і 5'. З роликами 5 та 5' шарнірно з'єднанні розклинювальні важелі 4 і 4' відповідно.

Отже, коли кулачок 6 розміщується ширшою стороною горизонтально (як зображено на рис. 2), то він тисне на ролики 5, 5', які діють на розклинювальні важелі 4, 4', та відбувається процес розклинювання механізму, відповідно, операція штанцювання картонних заготовок — крайнє верхнє положення натискної плити 3.

Коли кулачок 6 розміщується ширшою стороною вертикально, ролики 5, 5' контактують із вужчою стороною кулачка 6, відповідно, натискна плита 3 розміщена в крайньому нижньому положенні для подачі на неї наступної картонної заготовки.

Призначення розклинювального механізму — створення необхідного технологічного зусилля значної величини за порівняно невеликої рушійної сили.

Здатність розклинювального механізму приводу рухомої нижньої натискної плити плоского штанцювального преса створювати великі технологічні зусилля Q характеризується коефіцієнтом передачі сил [9]:

$$K_{ПС} = \frac{F_P}{Q}, \tag{1}$$

де F_p — величина рушійної сили, яка прикладена перпендикулярно до ланки O_2A, кН. Коефіцієнт передачі сил для існуючих штанцювальних пресів має величину 0,15…0,22, тобто збільшення в силі становить 5…7 разів.

Величину коефіцієнта передачі сил для цього розклинювального механізму можна подати за виразом [9]:

$$K_{ПС} = \sqrt{2 \cdot S_i \cdot C} + r \cdot f \cdot C, \tag{2}$$

де S_i — відстань нижньої плити преса від її «мертвої» верхньої точки, мм; C — геометричний параметр розклинювального механізму; r — радіус шарніра, мм; f — коефіцієнт ковзання, який приймають в межах 0,1…0,2.

Геометричний параметр розклинювального механізму визначається за виразом [9]:

$$C = \frac{2(R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2}. \tag{3}$$

Для визначення технологічного тиску в пресі використаємо відомий нам вираз [9]:

$$Q = p \cdot F = \sigma \cdot F, \tag{4}$$

де p — питомий тиск штанцювальної форми, який за величиною дорівнює напруженню стиску σ, МПа; F — площа штанцювальної форми, мм^2.

Величину напружень в картонній заготовці під час операції штанцювання можна визначити за виразом [9]:

$$\sigma = -E_O \cdot \ln(1 - \varepsilon_n) + K \cdot \varepsilon_n, \tag{5}$$

де E_o і K — константи, що характеризуються фізико-механічними властивостями картону; ε_n — величина відносної деформації картонної заготовки, мм.

Величину відносної деформації картонної заготовки можна розрахувати згідно з виразом [9]:

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta h}{h}, \tag{6}$$

де Δh — абсолютна деформація картонної заготовки, мм; h — товщина картонної заготовки, мм.

Однак за наявності еластичних та пружних деформацій в картонній заготовці якість штанцювання буде оцінюватись величиною залишкової відносної деформації, яка завжди буде меншою за повну деформацію, тобто залишкова відносна деформація — це деформація картонної заготовки через визначений час після штанцювання, коли відбулися явища зворотного характеру внаслідок розвитку еластичних деформацій.

Зв'язок між залишковою відносною деформацією $\varepsilon_{зал}$ та повною відносною при штанцюванні ε_n характеризується виразом [9]:

$$\varepsilon_{зал} = 1 - (1 - \varepsilon_n)^a \cdot e^{b \cdot \varepsilon_n}, \quad (7)$$

де *a* та *b* — сталі, що характеризують фізико-механічні якості картону, які для кожного сорту визначаються експериментальним шляхом (дані наведені в табл. 1).

Таблиця 1

Дані, що характеризують фізико-механічні якості картону

№ п/п	Тип картону	E_o, МПа	K, МПа	a	b
1	1	981.0	-625.2	2.006	1.68
2	2	758.7	-695.6	1.43	1.204
3	3	291.4	65.7	0.831	0.709
4	4	532.0	-364.1	1.39	1.19
5	5	177.2	-35.2	0.53	0.247
6	6	1059.5	-664.9	2.091	2.27

При штанцюванні картонних заготовок виникає пружна деформація преса, яку за величиною можна порівняти з деформацією картонної заготовки і, отже, її необхідно врахувати.

Жорсткість колон преса визначається за виразом [9]:

$$Z = \frac{\lambda}{Q}, \quad (8)$$

де λ — збільшення відстані між штанцювальною формою та нижньою плитою преса, що пов'язана з пружною деформацією колон преса під дією технологічного навантаження штанцювання *Q*.

Жорсткість колон преса також можна розрахувати за виразом [9]:

$$Z = \frac{4{,}5 \cdot L}{\pi \cdot D^2 \cdot E \cdot n}, \quad (9)$$

де *L* — довжина колон преса, мм; *n* — кількість колон; *D* — діаметр колон преса, мм; *E* — модуль пружності матеріалу колон преса.

Для проміжного положення штанцювальної форми [9]

$$\lambda_i = Q_i \cdot Z. \quad (10)$$

Максимальне видовження колон преса λ_{max} під дією Q_{max} разом із величиною максимальної абсолютної деформації $\Delta_{пм}$ картонної заготовки визначає шлях нижньої плити S_{max} [9]:

$$\Delta S_{\max} = \Delta_{пм} + \lambda_{\max}. \quad (11)$$

У діапазоні ΔS_{max} координати S_i рухомої плити преса для кожного із положень рухомої нижньої натискної плити, яка деформує картонну заготовку, будуть визначатися за виразом [9]:

$$S_i = \Delta S_{\max} - (\Delta_i + \lambda_i). \quad (12)$$

За значеннями S_i — координати рухомої плити плоскоштанцювального преса, легко розраховуються величини коефіцієнти передачі сил K_{nc} та відповідна їм величина рушійної сили F_p, вирази яких наведенні вище (2) та (1) відповідно.

Розроблений та рекомендований розклинювальний механізм приводу нижньої рухомої натискної плити плоского штанцювального преса має низку переваг, а саме: конструкція цього розклинювального механізму проста, тому що він не містить складних елементів конструкції та складається з одного кулачка, двох роликів, що підпружинені до кулачка та розклинювальних важелів; експлуатація та налагодження розклинювального механізму не потребує висококваліфікованих спеціалістів; немає додаткових складних механізмів для забезпечення строго вертикального переміщення натискної плити та рівномірного розподілення технологічного навантаження штанцювання, оскільки профіль кулачка є симетричний, що забезпечує симетричний рух розклинювальних важелів, відповідно, унеможливлює коливний рух натискної плити протягом всього часу робочого та холостого ходів; через те що профіль кулачка симетричний, за один його поворот на 360 градусів відбуваються два робочих і два холостих ходи, що вдвічі збільшує продуктивність плоского штанцювального преса.

Висновки. Наведені переваги плоского способу штанцювання картонних заготовок порівняно з іншими. Проведений аналіз переваг і недоліків існуючих розклинювальних механізмів плоских штанцювальних пресів. Для виконання операції штанцювання розроблений розклинювальний кулачковий механізм приводу нижньої рухомої натискної плити плоского штанцювального преса. Наведена схема та опис принципу роботи розробленого механізму. Подано теоретичні розрахунки технологічного навантаження процесу штанцювання картонних заготовок та величини рушійної сили, які виникають у пропонованому розклинювальному механізмі. Перераховані переваги розробленого та рекомендованого розклинювального механізму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регей І. І. Споживче картонне пакування: матеріали, проектування, обладнання для виготовлення. Львів : УАД, 2011. 142 с.
2. Хведчин Ю. Й. Брошурувально-палітурне устаткування : підруч. Львів : УАД, 2007. 392 с.
3. Влах В. В. Удосконалення штанцювального пресу застосуванням комбінованих механізмів приводу натискної плити : дис. канд. техн. наук : 05.05.01. 2018. 169 с.
4. Прес штанцювального автомата : пат. 107868 Україна: МПК B31B 1/14, B26F 1/38 / Хведчин Ю. Й., Регей І. І., Зелений В. В. № a201306886 ; заявл. 01.06.2013 ; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4. 4 с.
5. Прес штанцювального автомата : пат. 109520 Україна: МПК B26F 1/40, B31B 1/14 / Хведчин Ю. Й., Регей І. І., Зелений В. В. № a201411880 ; заявл. 03.11.2014 ; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16. 4 с.

6. Книш О. Б., Слобода Т. В. Виготовлення розгорток картонних паковань (аналіз та шляхи усунення недоліків). Упаковка. 2014. № 1. С. 43–45.
7. Lin W., Zhou C., Huang W. Optimum design for mechanical Structures and material Properties of the dual-elbow-bar mechanism. Hindawi Advances in Materials Science and Engineering. 2015. Article ID 724171. 5 p. http://dx.doi.org/10.1155/2015/724171.
8. Song R., Chu J. Z., Wu B. Z. Semi-automatic platen die-cutting mechanism's optimization design based on CAE Technology. Advanced Materials Research. Switzerland. 2011. Vol. 338. P. 223–226.
9. Хведчин Ю. Й. Розрахунок механізмів брошурувально-палітурного устаткування : навч. посіб. Львів : УАД, 1999. 103 с.

REFERENCES

1. Rehei, I. I. (2011). Spozhyvche kartonne pakuvannia: materialy, proektuvannia, obladnannia dlia vyhotovlennia. Lviv : UAD (in Ukrainian).
2. Khvedchyn, Yu. Y. (2007). Broshuruvalno-paliturne ustatkuvannia . Lviv : UAD (in Ukrainian).
3. Vlakh, V. V. (2018). Udoskonalennia shtantsiuvalnoho presu zastosuvanniam kombinovanykh mekhanizmiv pryvodu natysknoi plyty : dys. kand. tekhn. nauk : 05.05.01 (in Ukrainian).
4. Pres shtantsiuvalnoho avtomata : pat. 107868 Ukraina: MPK V31V 1/14, B26F 1/38 / Khvedchyn, Yu. Y., Rehei, I. I., & Zelenyi, V. V. № a201306886 ; zaiavl. 01.06.2013 ; opubl. 25.02.2015, Biul. № 4. 4 s. (in Ukrainian).
5. Pres shtantsiuvalnoho avtomata : pat. 109520 Ukraina: MPK B26F 1/40, B31B 1/14 / Khvedchyn, Yu. Y., Rehei, I. I., & Zelenyi, V. V. № a201411880 ; zaiavl. 03.11.2014 ; opubl. 25.08.2015, Biul. № 16. 4 s. (in Ukrainian).
6. Knysh, O. B., & Sloboda, T. V. (2014). Vyhotovlennia rozghortok kartonnykh pakovan (analiz ta shliakhy usunennia nedolikiv): Upakovka, 1, 43–45 (in Ukrainian).
7. Lin, W., Zhou, C., & Huang, W. (2015). Optimum design for mechanical Structures and material Properties of the dual-elbow-bar mechanism: Hindawi Advances in Materials Science and Engineering. Article ID 724171. 5 p. http://dx.doi.org/10.1155/2015/724171 (in English).
8. Song, R., Chu, J. Z., & Wu, B. Z. (2011). Semi-automatic platen die-cutting mechanism's optimization design based on CAE Technology: Advanced Materials Research. Switzerland, 338, 223–226 (in English).
9. Khvedchyn, Yu. Y. (1999). Rozrakhunok mekhanizmiv broshuruvalno-paliturnoho ustatkuvannia. Lviv : UAD (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2020-1-79-112-120

THE DRIVE MECHANISM OF A PRESSURE PLATE OF A FLAT DIE-CUTTING PRESS

J. A. Shakhbazov, O. Yu. Cheterbukh, V. V. Shyrokov, O. O. Palamar

Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
shah-nika@ukr.net, 25012017@ukr.net

The essence of the die-cutting process of cardboard packaging blanks has been explained. The main methods of cardboard packaging manufacturing are described: cutting, die-cutting and cutting-out. The advantages and disadvantages of flat die-cutting compared with flat-cylinder and rotary methods are listed. The manufacturers of flat die-cutting presses are represented. One of the main problems in improving the wedging mechanisms is explained, namely the provision of strictly vertical movement of the pressure plate during working and idling and even distribution of technological load during the die-cutting operation of cardboard packaging blanks for the quality product manufacturing. The analysis of various existing wedging mechanisms differing in the constructive elements that ensure the movement of the pressure plate, with an indication of their advantages and disadvantages has been done. A new wedging mechanism of the drive of the lower movable pressure plate of a flat die-cutting press has been developed and recommended. The scheme of the offered mechanism, the list of its constituent parts and the description of the working principle have been presented. Theoretical calculations of technological load of the die-cutting process of cardboard packaging and the magnitude of the driving force, which arises in the developed and proposed wedging mechanism, the drive of the lower movable pressure plate of a flat die-cutting press are presented. The advantages of the new developed and proposed wedging mechanism in comparison with other mechanisms are listed.

Keywords: *die-cutting, cardboard packaging, manufacturers, wedging mechanisms, flat die-cutting, lower movable pressure plate, constructive elements, technological load, driving force, advantages, new developed and proposed wedging mechanism.*

Стаття надійшла до редакції 30.01.2020.
Received 30.01.2020.