

УДК 681.621.53

ОЦІНКА ПОВЕДІНКИ АРКУША КАРТОНУ ПРИ НАКОЧУВАННІ НАТИСКНОГО ЦИЛІНДРА

С. В. Терницький, Ю. В. Вагуляк, Н. М. Кандяк

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

Проаналізовано дію сил на вільно розміщений на нерухомій штанцювальній формі аркуш картону при накочуванні на нього натискного циліндра, щоб з'ясувати, чи необхідне додаткове застосування захоплювачів або притискних механізмів у процесі роботи плоскоциліндрових штанцювальних пресів із нерухомою штанцювальною формою. Подано аналітичні залежності складових сил, що виникатимуть під час виготовлення розгортки картонних паковань на пресах плоскоциліндрового типу з рухомим натискним циліндром. Встановлено, що значення сумарного притискного зусилля залежатиме від конкретних умов експлуатації устаткування. Наведено аналітичну залежність зусилля, що забезпечуватиме достатню фіксацію аркуша картону на плоскій штанцювальній формі у плоскоциліндрових пресах із циліндром, що перекочується по нерухомій формі. Виявлено, що на величину сумарного вертикального зусилля найбільш істотно впливає кут початку контакту натискного циліндра з аркушем картону, який зростає за умови збільшення товщини картону і зменшення радіуса натискного циліндра.

Ключові слова: зусилля, плоскоциліндровий штанцювальний прес, картон, пакування, штанцювальна форма.

Постановка проблеми. Однією з основних операцій у технологічному ланцюзі виготовлення картонного пакування є створення розгортки картонних паковань на штанцювальних пресах [1]. Зараз виділяють кілька способів штанцювання, які залежать від геометричної форми штанцювальної форми й натискної поверхні преса, а також характеру їхнього взаємного руху під час виконання технологічної операції штанцювання [2] — плоске, ротаційне та плоскоциліндрове штанцювання. Штанцювальні преси плоского типу конструктивно складні, енергоємні і відповідно дорогі. Ротаційні преси потребують ускладненої технології виготовлення циліндричних штанцювальних форм. До того ж вони менш універсальні за своїми технологічними можливостями [3]. Раціональним рішенням є використання штанцювальних пресів плоскоциліндрового типу, які ввібрали переваги плоских та ротаційних пресів. Такий тип устаткування позбавлений недоліків інших видів [4].

Для стабільного функціонування пресів, побудованих за плоскоциліндровою схемою, необхідно розв'язати технічні задачі: забезпечити рівномірне переміщення засобу створення тиску протягом часу штанцювання, мінімізувати негативний вплив інерційних навантажень внаслідок гальмування та розгону засобу створення тиску

в крайніх положеннях, забезпечити його короткотривалу зупинку для подання картонної заготовки, її фіксування та виведення відштанцьованого аркуша.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільшого поширення у виробництві набули штанцювальні преси плоского типу. Одним із найважливіших вузлів цього обладнання є механізм преса, який забезпечує рух натискної плити, а тому і виконання технологічної операції штанцювання. Автори праці [5] дослідили наявні конструкції механізмів преса різних видів штанцювального і подібного обладнання. Здійснений аналіз засвідчив недоліки устаткування, що побудовані за схемою плоского штанцювання. У статті [6] автори відзначають, що для приводу натискної плити в штанцювальних пресах плоского типу використовують важільні механізми, недоліки яких спричинені хитним рухом їхніх ланок. Такий привід натискної плити негативно впливає на якість картонних розгортки, погіршує стабільність роботи преса і знижує його продуктивність. У статті [7] автори розглядають ротаційний тип штанцювальних пресів, зокрема пропонують високошвидкісний штанцювальний. Такий вид устаткування потребує гнучкої системи передачі з високою точністю і надійністю.

На принципі мінімізації контактуючих поверхонь ґрунтується будова плоскоциліндрових пресів, які універсальні з погляду зміни товщини і формату аркушів картону, оперативного переналаштування на інший вид пакування. У таких пресах можливість ліквідувати деформації нерухомого стола, а розміщення заготовки з картону безпосередньо на штанцювальній формі поліпшують подання і вивід аркуша [8]. Автори праці [9] запропонували методику оцінювання крутного моменту, який виникає в процесі виготовлення розгортки картонних пакувань на пресах плоскоциліндрового типу, адже вони мають переваги плоских і ротаційних пресів. Науковці проаналізували і встановили залежність крутного моменту від багатьох факторів та описали аналітичною залежністю. Однак автори не розглядають поведінку аркуша картону під час накочування натискного циліндра на нерухому штанцювальну форму.

У статті [10] автори розглядають процес бігування картону. Автори запропонували для бігування картону застосовувати методику розрахунку геометричних параметрів гвинтового інструмента. Проведено аналітичні дослідження, що уможливають проєктування устаткування такого типу. Проте в статті немає даних щодо поведінки аркуша картону на опорній плиті в процесі бігування. Крім того, устаткування такого типу покликане виконувати операцію лише поперечного бігування. Автори не розглядали можливість виготовлення розгортки картонних пакувань із використанням запропонованого устаткування.

Для забезпечення гнучкого перенастроювання обладнання та зменшення технологічного зусилля в статтях [11, 12] запропоновано застосовувати плоскоциліндрову схему преса. У цих працях наведено оригінальні технічні пропозиції щодо виготовлення такого типу преса та методику визначення жорсткості пружин приводу. Однак у статті не наведено аналізу сил, що виникатимуть при накочуванні натискного циліндра на нерухому штанцювальну форму із розміщеним на ній аркушем картону.

Як свідчить аналіз наукових публікацій, проведені дослідження стосуються процесу виготовлення розгортки споживчих картонних пакувань. За результатами досліджень не виявлено вивчення навантажень, що виникають у зоні контакту натискного циліндра та аркуша картону під час його накочування, а отже, і не з'ясовано поведінку аркуша в процесі його обробки.

Мета статті — встановлення поведінки та позиції аркуша картону на плоскій штанцювальній формі під час перекочування натискного циліндра, що уможливуватиме достовірне проєктування механізмів захоплення, фіксації та транспортування аркуша.

Виклад основного матеріалу дослідження. У плоскоциліндровому пресі з нерухоною штанцювальною формою прямий та зворотний хід циліндра є робочим. В одному випадку циліндр прокочується по аркушу на штанцювальній формі від захоплювачів до хвоста, а в іншому — навпаки: він прокочується від хвостової частини аркуша картонної заготовки до захоплювачів. Водночас позитивну роль захоплювачів враховувати не будемо.

На рис. 1 наведено схему дії сил у момент дотику циліндра 1 до аркуша картону 2, що лежить на ежекторному матеріалі 3, плоскій штанцювальній формі, і перебуває на відстані Δ від рівня висікальних лінійок 4. Товщина аркуша картону — δ_k , його маса квадратного метра — m_1 .

Горизонтальна складова сили опору складатиметься із сили тертя і сили інерції:

$$P_x = P_{in} + P_{mp1} = a \cdot b \cdot m_1 \cdot g \cdot f_1 + a \cdot b \cdot m_1 \cdot W_y = a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_y), \quad (1)$$

де f_1 — коефіцієнт тертя в парі картон — ежекторний матеріал ($f_1 \approx 0,2$); W_y — прискорення центра мас циліндра (каретки з циліндром).

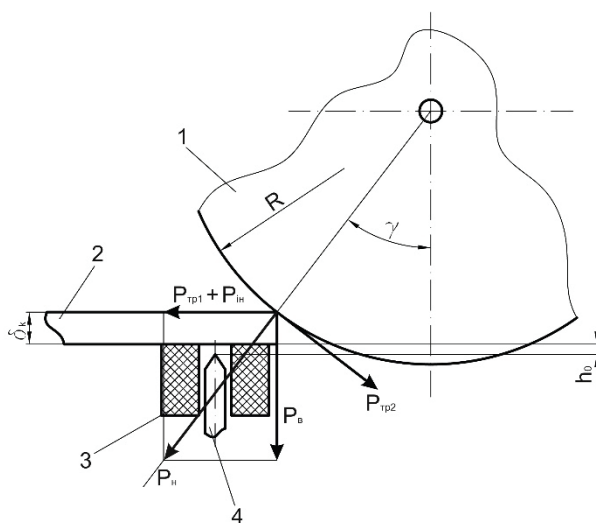


Рис. 1. Схема дії сил на початку накочування циліндра на плоску штанцювальну форму:

- 1 — натискний циліндр; 2 — аркуш картону; 3 — ежекторний матеріал;
4 — висікальна лінійка

Кутова координата, що визначає початок контакту циліндра з картоном, дорівнюватиме:

$$\gamma = \arccos\left(1 - \frac{h_0 + \delta_k}{R}\right). \quad (2)$$

Нормальна сила, з огляду на (1), становитиме:

$$P_n = \frac{a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_u)}{\sin \gamma}. \quad (3)$$

Вертикальна складова, яка притискає аркуш картонної заготовки до плоскої штанцювальної форми:

$$P_g = \frac{a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_u)}{\tan \gamma}. \quad (4)$$

У момент початку контакту (дотику) циліндра до картонного аркуша, з огляду на його обертовий рух, виникатиме сила тертя між ними, що становитиме:

$$P_{mp2} = P_n \cdot f_2 = a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_u) \cdot f_2. \quad (5)$$

Вертикальна складова від цієї сили тертя:

$$P_{mp2g} = P_n \cdot f_2 \cdot \sin \gamma = a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_u) \cdot f_2 \cdot \sin \gamma. \quad (6)$$

Отже, сума (4) та (6) відтворюватиме сумарну вертикальну силу, яка фіксуватиме розташування аркуша картону на плоскій штанцювальній формі:

$$P_{g\Sigma} = a \cdot b \cdot m_1 \cdot (g \cdot f_1 + W_u) \cdot \left(f_2 \cdot \sin \gamma + \frac{1}{\tan \gamma}\right). \quad (7)$$

Відповідно до отриманої залежності (7) при всіх постійних значеннях f_1 , f_2 , W_u , h_0 та R сумарна вертикальна складова залежатиме від розмірів аркуша картону ($a \times b$), його маси квадратного метра (m_1) і товщини (δ_k).

Числові значення сумарного притискного зусилля залежатимуть від конкретних умов. Для оцінювання його усередненого значення необхідно розглянути реальний варіант, що можливий при виготовленні розгортки картонних пакувань. Розраховане зусилля забезпечуватиме достатню фіксацію аркуша картону на плоскій штанцювальній формі у плоскоциліндрових пресах із циліндром, що перекочується по нерухомій формі.

Висновки. Проведено аналіз явищ, що супроводжують процес накочування циліндра на нерухому штанцювальну форму із розміщеним на ній аркушем картону. Отримано аналітичні залежності визначення сил, що діятимуть на незафіксований аркуш картону, який розміщено на плоскій штанцювальній формі в момент накочування циліндра. Розраховано величину сили, що притискатиме аркуш картону до форми із використанням реальних значень. Виявлено, що на величину сумарного вертикального зусилля найбільш істотно впливає кут γ , який зростає за умови збільшення $\delta_k + h_0$ і за зменшення радіуса циліндра R .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регей І. І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. Львів : УАД, 2011. 144 с.
2. Волчко А. А., Гавва О. М. Пристрої для формування картонних пачок. Упаковка. 2002. № 5. С. 36–38.

3. Арабський Р. С., Арабський Ю. С. Штampi для висікання картонних упаковок. Львів, 1996. 100 с.
4. Emblem A., Emblem H. *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. Oxford : Woodhead Publishing Ltd, 2012.
5. Хведчин Ю. Й., Зелений В. В. Аналіз механізмів преса штанцювальних автоматів. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2014. № 4 (49). С. 21–30.
6. Регей І. І., Керя В. М. Механізм привода преса штанцювальної машини-автомата. Упаковка. 2015. № 1. С. 62–63.
7. Fan Feiran, Ding Huiyao. The research and the application for the rotary die-cutting machine drive technology. 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. Wuhan, 2010. Pp. 5914–5917.
8. Чехман Я. І., Ткач С. В., Кравчук І. М. Особливості визначення зусиль при висіканні картону на плоскоциліндровому пресі. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2003. № 6. С. 21–24.
9. Терницький С. В. Оцінка максимального крутного моменту в штанцювальному пресі плоскоциліндрового типу для виготовлення розгорток картонних паковань. Поліграфія і видавнича справа. 2012. № 1. С. 80–89.
10. Ватуляк Ю. В., Шустикевич А. І., Терницький С. В. Конструктивні особливості інструмента для поперечного бігування картону. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2019. № 2 (78). С. 11–15.
11. Регей І. І., Федішин Р. І., Терницький С. В. Засоби штанцювання картону (обґрунтування конструктивних особливостей та технічних параметрів). Упаковка. 2008. № 6. С. 29–31.
12. Регей І. І., Федішин Р. І., Терницький С. В. Засоби штанцювання картону (обґрунтування конструктивних особливостей та технічних параметрів). Упаковка. 2009. № 1. С. 37–38.

REFERENCES

1. Rehei, I. I. (2011). *Spozhyvche kartonne pakovannia (materialy, proektuvannia, obladnannia dlia vyhotovlennia)*. Lviv : UAD (in Ukrainian).
2. Volchko, A. A., & Havva, O. M. (2002). *Prystroji dlia formuvannia kartonnykh pachok: Upakovka*, 5, 36–38 (in Ukrainian).
3. Arabskyi, R. S., & Arabskyi, Yu. S. (1996). *Shtampy dlia vysikannia kartonnykh upakovok*. Lviv (in Ukrainian).
4. Emblem, A., & Emblem, H. (2012). *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. Oxford : Woodhead Publishing Ltd (in English).
5. Khvedchyn, Yu. Y., & Zelenyi, V. V. (2014). *Analiz mekhanizmiv presa shtantsiuvalnykh avtomativ: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva]*, 4 (49), 21–30 (in Ukrainian).
6. Rehei, I. I., & Kerea, V. M. (2015). *Mekhanizm pryvoda presa shtantsiuvalnoi mashyny-avtomata: Upakovka*, 1, 62–63 (in Ukrainian).
7. Fan, Feiran, & Ding, Huiyao. (2010). The research and the application for the rotary die-cutting machine drive technology. 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. Wuhan, 5914–5917 (in English).

8. Chekhman, Ya. I., Tkach, S. V., & Kravchuk, I. M. (2003). Osoblyvosti vyznachennia zusyl pry vysikanni kartonu na ploskotsylindrovomu presi: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 6, 21–24 (in Ukrainian).
9. Ternytskyi, S. V. (2012). Otsinka maksimalnogo krutnogo momentu v shtantsiuvalnomu presi ploskotsylindrovoho typu dlia vyhotovlennia rozghortok kartonnykh pakovan: Polihrafia i vydavnycha sprava, 1, 80–89 (in Ukrainian).
10. Vatuliak, Yu. V., Shustykevych, A. I., & Ternytskyi, S. V. (2019). Konstruktyvni osoblyvosti instrumenta dlia poperechnoho bihuvannia kartonu: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 2 (78), 11–15 (in Ukrainian).
11. Rehei, I. I., Fedyshyn, R. I., & Ternytskyi, S. V. (2008). Zasoby shtantsiuвання kartonu (obgruntuvannia konstruktyvnykh osoblyvostei ta tekhnichnykh parametriv): Upakovka, 6, 29–31 (in Ukrainian).
12. Rehei, I. I., Fedyshyn, R. I., & Ternytskyi, S. V. (2009). Zasoby shtantsiuвання kartonu (obgruntuvannia konstruktyvnykh osoblyvostei ta tekhnichnykh parametriv): Upakovka, 1, 37–38 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2020-1-60-108-114

EVALUATION OF THE CARDBOARD SHEET BEHAVIOR IN PULLING THE PRESSURE CYLINDER

S. V. Ternytskyi, Yu. V. Vatuliak, N. M. Kandiak

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
serhij86@gmail.com*

The article presents the advantages of flat-cylinder presses. The work of such presses is based on the principle of minimizing of contacting surfaces, which make them universal in terms of changing of the thickness and format of the cardboard sheets, prompt readjustment to another type of packaging. For the stable flat-cylinder presses functioning, technical problems need to be solved: to ensure even movement of the pressure means during the die-cutting process, to minimize the negative impact of inertial loads due to the deceleration and acceleration of the pressure means in the extreme positions, to provide shortening, fixing and the output of the die-cut sheet.

The article shows the analysis of forces effects on a freely placed cardboard sheet on the fixed die-cutting forme during the movement of pressure cylinder. With the aim to determine the need of additional gripping or clamping mechanisms during the cardboard packaging manufacture on flat-cylindrical die-cutting presses with fixed form, analytical researches of forces have been made in zone of contact between cardboard sheet and cylinder. The analytical dependencies of component forces that arise during the process of die-cutting of the cardboard packaging on flat-cylinder presses with a movable pressure cylinder are presented. It is established that the value of the total clamping

force depends on the specific operating conditions of the equipment. The article shows an analytical dependency of the effort that provide sufficient fixation of cardboard sheet on a flat die-cutting forme in flat-cylinder presses. It is found that the value of the total vertical force is most significantly influenced by the angle of onset of contact of the pressure cylinder with a sheet of cardboard. The increase of cardboard sheet thickness and decrease of the pressure cylinder radius cause the increase of needed vertical force.

Keywords: *effort, flat-cylinder press, cardboard, packaging, die cutting forme.*

Стаття надійшла до редакції 10.01.2020.

Received 10.01.2020.