

УДК 676.84 + 66-9

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГИНАННЯ КАРТОНУ ШЛЯХОМ ЙОГО ПРОШТОВХУВАННЯ КРІЗЬ МАТРИЦЮ

А. Б. Коломієць, Н. М. Кандяк, Л. Б. Голдак, О. О. Котовський

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79000, Україна*

Розроблено дослідний стенд для виконання досліджень явищ, що супроводжують згинання картону / паперу під час виготовлення донної частини харчових ємностей та контейнерів. Стенд складається із станини, крокового двигуна, зубчасто-рейкового привода, інструментальної частини, електронної частини керування приводом. У стенді можливо змінювати інструментальну частину. Встановлені на першому етапі досліджень попарно матриці та пуансоны у вигляді пластин з різними краями. Були виконанні згинання пластин з картону товщиною 0,25-0,5 мм у П-подібну форму. Рухомим пуансоном надавався лінійний рух із різною швидкістю, а також із різними законами періодичного руху. Виявлені характерні діаграми для зусиль згинання, які являють собою нерівнобічну піраміду з однією або двома верхівками. Визначені питомі (лінійні) зусилля опору для зразків з поперечним та поздовжнім напрямком волокон відносно ліній згинання. Створено передумови для виконання другої стадії експериментальних досліджень згинання картонних заготовок у чашкоподібну форму дна харчових контейнерів.

Ключові слова: дослідження; папір; згинання; пластина; зусилля; розміри; стенд; інструмент; вимірвальна балка.

Постановка проблеми. Споживче харчове картонне пакування, зокрема конічні контейнери, набуває популярності завдяки своїй зручності та екологічності. Такі ємності легкі, міцні та підходять для різноманітних продуктів — від снєків до гарячих страв. Конічна форма забезпечує комфортне тримання в руці та економне використання матеріалу. Крім того, картон легко переробляється, що робить це пакування більш сталим вибором для виробників і споживачів [1, 2].

Існує багато патентів, присвячених конструкції паперових стаканчиків (паперовим конічним контейнерам) [3]. Наприклад, одні з перших рішень з цієї тематики датуються ще 1941 роком. Відомим є патент US 2196828 на паперовий стаканчик, простого, економного виготовлення, з міцною конструкцією для утримання рідин. Ще один патент US 2192415A на дизайн паперового стакана описує тонку стінку з нахиленим (конусним) корпусом і кільцеве підсилення, щоб запобігти зминанню.

Найбільш відомим виробником обладнання для виготовлення конічних контейнерів з паперу або картону є німецька фірма Hogauf [4]. Також існують великі фірми у Китаї.

Хоча обладнання виробляють різні фірми, проте в основі виробництва лежить відомий метод утворення просторової форми конічного корпусу з плоских заготовок та приєднання до нього чашкоподібного дна. Останнє утворюється з попередньо висічених круглих заготовок, коли вони проштовхуються циліндричним пуансоном через отвір матриці.

Для одноразових паперових стаканчиків в Україні може використовуватися загальний стандарт ДСТУ 8862:2019 «Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови» [5], а також стандарти на сам папір або картон, що йде на їхнє виробництво, наприклад, ДСТУ 8399:2015 або ДСТУ 4199:2020. Існують також інші стандарти, що стосуються паперу для харчових цілей, залежно від призначення стаканчиків.

Використовуються наступні стандарти:

- ДСТУ 8862:2019 «Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови» – це загальний стандарт, який може охоплювати паперові стаканчики, що використовуються в побуті та для санітарно-гігієнічних цілей.
- ДСТУ 8399:2015 «Папір для виробів санітарно-гігієнічної призначення. Технічні умови» – цей стандарт стосується сировини, з якої виробляють санітарно-гігієнічні вироби, що може включати і паперові стаканчики.

Важливо зазначити, що точний стандарт може залежати від специфіки паперових ємностей (наприклад, стаканчиків для гарячих напоїв, для харчових продуктів тощо). також під час закупівлі слід звертати увагу на ДК 021:2015 «Єдиний закупівельний словник», де для одноразових паперових виробів вказано код 33770000-8.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі дослідження українських вчених, які можна використати за основу для подальшого вивчення явищ, що виникають під час оброблення заготовок та механізмів, призначених для енергоощадного продукування виробів. Наприклад, дослідження Задри В. під керівництвом Главацького А. С. дозволило визначити силові навантаження під час створення круглих заготовок методом висікання за допомогою циліндричних інструментів [6, 7]. Створенню криволінійних фігурних паперових заготовок методом вирізування присвячені праці Регея І. І., Млинко О. І. та інших.

Зменшення зусиль можливо отримати під час формування об'ємних форм продукції з плоских заготовок, на яких попередньо нанесені бігувальні лінії. Дослідження процесів та інноваційного обладнання для нанесення ліній майбутніх згинів різними методами відображено у працях Регея І. І., Бегеня П. І., Терницького С. В., Книша О. Б., Слободи Т. В., Коломійця А. Б., Котовського О. О. [8, 9].

Відомі іноземні публікації з цієї проблематики охоплюють дослідження вчених з Швеції, Фінляндії, Китаю, Індії [10, 11, 12, 13].

Виконані на сьогодні дослідження у цій тематиці є фрагментарними, а широкі комплексні наукові роботи фактично відсутні. Наявне технологічне обладнання для формування паперових конічних контейнерів є складним за конструкцією та недостатньо описаним у фаховій літературі.

Дотепер не було проведено ґрунтовних досліджень процесів згинання плоских паперових заготовок у просторові конічні форми. Також залишаються невивченими

явища, що виникають під час формування дна паперового стаканчика, зокрема розвиток локальних напружень, деформацій і характер розподілу зусиль. Відсутність верифікованих даних щодо величин зусиль при пластичному формуванні ускладнює побудову адекватних теоретичних моделей.

Це, у свою чергу, не дозволяє виконати надійні та точні розрахунки механізмів, необхідних для створення ефективної машини для формування таких паперових контейнерів. Недостатність експериментальних досліджень і валідаційних методик формує методологічний розрив між практичними потребами галузі та наявною науковою базою.

Таким чином, проблема є комплексною й потребує подальших систематичних досліджень у напрямі механіки згинання, моделювання процесів формування та вдосконалення технологічних засобів.

Мета статті. Основною метою дослідження є опис дослідного стенду для визначення лінійних зусиль під час згинання картону у П-подібну форму за допомогою механізмів привода згаданого стенду, що слугуватиме передумовою визначення зусиль згинання круглими інструментами під час формування з плоских картонних заготовок просторових частин харчових контейнерів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для валідації математичних моделей та уточнення їхніх параметрів з урахуванням властивостей матеріалу розгортки і умов згинання, було розроблено та модернізовано дослідний стенд. Цей стенд імітує функціонування інструментів, таких як формувальна колодка або пуансони, які приводяться в рух сервоприводом з програмною функцією «електронний кулачок». За основу для проведення першого етапу досліджень взято стенд, описаний у [14], див. рис. 1.

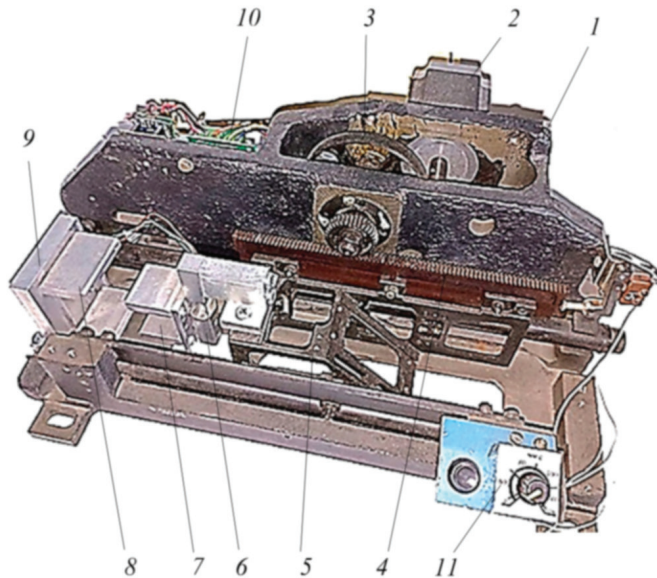


Рис. 1. Стенд для дослідження згинання картону у П-подібну форму з плоскої заготовки шляхом проштовхування її пуансоном крізь матрицю

Згаданий стенд був призначений для здійснення досліджень на гофрокартоні, так як картон є одношаровий і набагато тоншим матеріалом, очікувалось, що зусилля будуть значно меншими. Тому двигун не було змінено, як і вигляд інструментів.

У приводі застосовано кроковий двигун серії Nema 23 з кроком (кутом повороту вала) $1,8^\circ$ та моментом на валу до $1,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Програмний контроль руху пуансонів у стенді здійснюється за допомогою драйвера керування двофазним кроковим двигуном з максимальною частотою широтно-імпульсної модуляції до 200 кГц . Електронна частина стенду описана у [15].

До валу двигуна 2 приєднано зубчасту передачу 3, яка урухомлює вхідне зубчасте колесо наступної зубчасто-рейкової передачі. До рухомої рейки 4 приєднано каретку 5 з фігурним кронштейном, на якому закріплена одним кінцем вимірна балка 6. На іншому кінці вимірної балки 6 встановлено поперечну пластину з двома пуансонами 7 у вигляді двох пластин, які розташовані дзеркально до горизонтальної траєкторії їхнього руху.

На основі 1 стенду встановлено кронштейн 9. До вертикальних пазів кронштейна дзеркально до руху матриць встановлено дві пластини 8, які разом утворюють «матрицю». Попередньо установлювалось положення кожної з пластини-матриці по відношенню до парної до неї пластини-пуансона. Відстань не повинна була бути меншою за товщину δ матеріалу картонної пластинки, але не більше від $1,5 \delta$ з метою уникнення неточності згинання на 90° кожного з клапанів П-подібного продукту. У початковому положенні відстань між торцями пластин-матриць та пластин-пуансонів складала 10 мм .

Вимірювальний комплекс стенда включає [15]:

- тензометричну скобу,
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП),
- операційний підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення (PGA).

Мікроконтролер здійснює збір та обробку даних з АЦП, налаштовує параметри PGA, а потім передає інформацію на зовнішній пристрій (ПК, планшет, смартфон або індикатор). Для відображення даних у MS Excel розроблено макрос на мові VBA, який адаптується у кожному етапі дослідження. Програмне забезпечення було попередньо підготовлено у вигляді шаблонів, які потім редагувалися для виконання конкретних експериментів.

Тензометрична скоба, обрана для експерименту, є ключовим компонентом, що перетворює механічну деформацію на електричний сигнал. Для цього дослідження використовується модель YZC-131, яка є тензодатчиком, розробленим для вимірювання зусиль, що відповідають масі до 10 Н .

Виконано тестування працездатності прототипу пристрою, що базується на цій системі. Періодично виконувалось тарування вимірювальних інструментів.

Розроблено програму першого етапу досліджень згідно поставленої мети [16]. Вона включала дослідження двох найбільш застосованих товщин картону, ламінованого з одного боку [17].

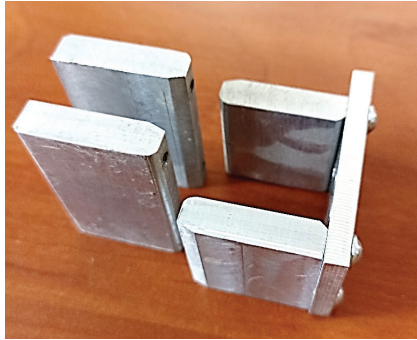


Рис. 2. Виконавчі інструменти з різними крайками стенду для дослідження процесу утворення П-подібної форми з плоскої заготовки

Були виконанні згинання пластин з картону товщиною 0,25-0,5 мм у П-подібну форму. Рухомим пуансоном надавався лінійний рух із різною швидкістю, а також із різними законами періодичного руху. Застосовано декілька режимів переміщення каретки з пуансонами. Крім простого лінійного руху з значеннями швидкості $V = 40, 60, 80, 100$ мм/с, здійснювався також рух за відомими законами згідно [18], заданими у поліноміальному вигляді – Косинусоїда, Синусоїда, Шуна.

Результати експериментальних вимірювань згинання пластини у П-подібний зразок подано у табл.1 та табл.2. Зразок пластини являв собою мірну смужку з картону шириною 25 мм (для здійснення двох згинів матеріалу по 90° кожний).

Таблиця 1

Назва, товщина	Напрямок волокон	Швидкість переміщення штовхача, мм/с							
		40		60		80		100	
0,35 мм	0°	12,93	1,17	11,68	1,08	9,69	1,52	11,06	1,26
0,35 мм	90°	15,16		12,63		14,74		13,96	
0,5 мм	0°	22,96	1,47	22,14	1,11	21,32	1,11	20,42	1,18
0,5 мм	45°	17,58		22,42		22,1		24,12	
0,5 мм	90°	25,78		24,57		23,7		20,39	

Таблиця 2

Товщина	Напрямок волокон	ЗІП штовхача під час руху з швидкістю 60 мм/с						
		cos		sin		Шуна		
0,35 мм	0°	10,49	1,41	10,93	1,20	9,55	1,62	
0,35 мм	90°	14,82		13,13		15,51		
0,5 мм	0°	18,93	1,38	13,01	1,83			
0,5 мм	45°	26,2		20,49				
0,5 мм	90°	26,2		23,79				

Для картону товщиною $\delta = 0,35$ мм під час згинання у П-подібний зразок пластини шириною $B = 25$ мм парою плоских пуансонів, що мають заокруглені краї.

Були отримані характерні діаграми для зусиль згинання (рис.3, 4, 5, 6) , які являють собою нерівнобічну піраміду з однією або двома верхівками. Визначені питомі (лінійні) зусилля опору для зразків з поперечним та повздовжнім напрямком волокон відносно ліній згинання.

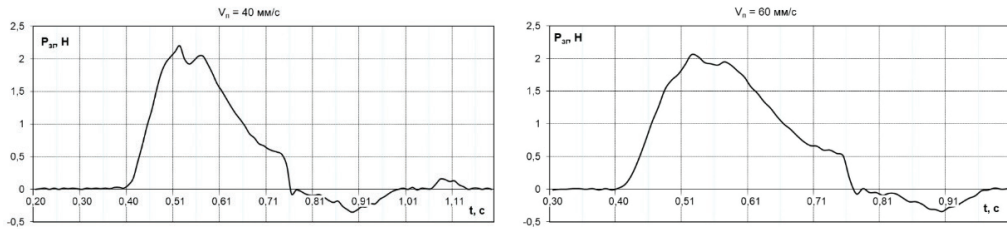


Рис. 3. Осцилограми зусилля згинання пуансоном пластинки картону 0,35 мм, лінії згину паралельні волокнам під час $V_n = 40; 60; 100$ мм/с

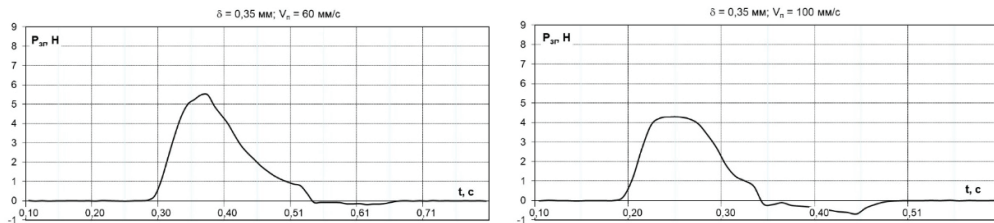


Рис. 4. Осцилограми зміни зусилля згинання пуансоном пластинки картону 0,35 мм, лінії згину перпендикулярні волокнам під час $V_n = 60; 100$ мм/с

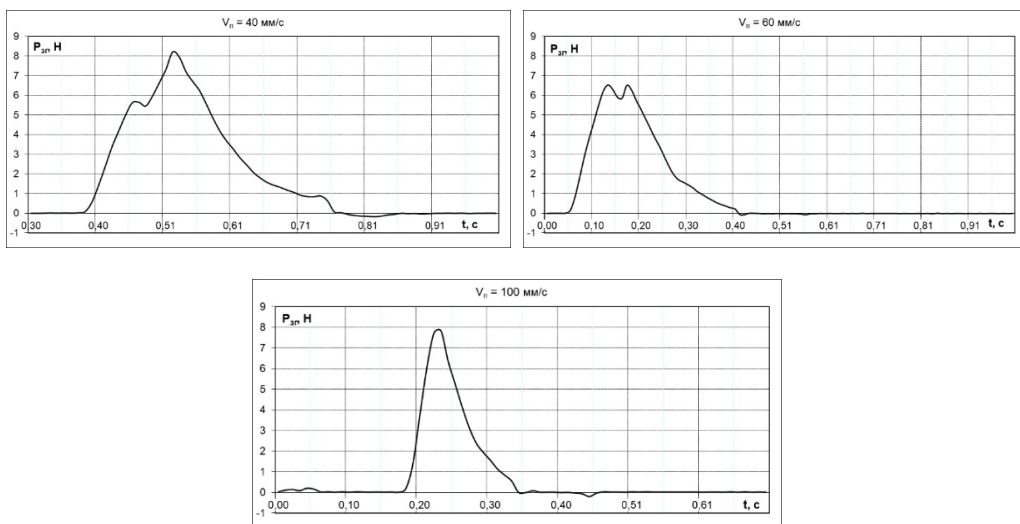


Рис. 5. Осцилограми зміни зусилля згинання пуансоном пластинки картону 0,5 мм, лінії згину паралельні волокнам під час $V_n = 40; 60; 100$ мм/с

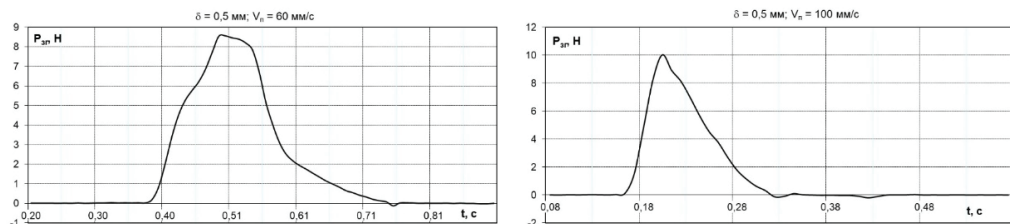
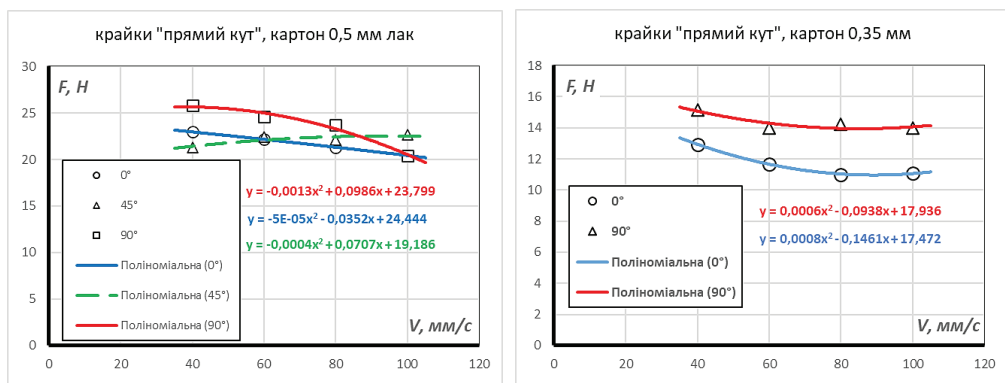
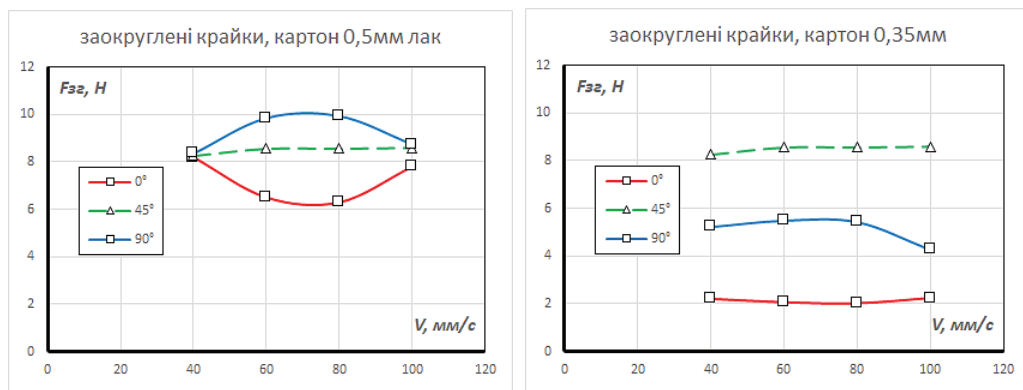


Рис. 6. Осцилограма зусилля згинання пуансоном пластинки картону 0,5 мм, лінії згину перпендикулярні волокнам під час $V_p = 60; 100$ мм/с



а – прямі краї



б – заокруглені краї

Рис. 7. Залежність зусилля згинання пуансоном смужок картону товщиною 0,5 та 0,35 мм, лінії згину перпендикулярні волокнам під час руху пуансона зі швидкістю $V_p = 40 \dots 100$ мм/с

Висновки. Виконана адаптація універсального експериментального стенду для дослідження властивостей гофрокартону до іншого матеріалу – щільного картону; розроблено програму експериментальних досліджень, спрямованих на визначення лінійного питомого навантаження під час здійснення згину плоского

матеріалу на 90°; виявлено, що осцилограми зусилля виглядають подібно для різних напрямків волокон, мають зазвичай два пікових значення, під час збільшення швидкості переміщення пуансонів залежність має один пік; для поступального руху питоме зусилля згинання коливається від 9,69 Н/мм (для картону товщиною 0,35 мм) до 25,78 Н/мм (для картону товщиною 0,5 мм).

Виконані попередні дослідження виявили незначний вплив швидкості переміщення пуансона під час здійснення згинання паперової пластини. Визначені лінії тренду. Найбільш близькими виявились поліноміальні функції 3-ї степені, на графіках подано їхні рівняння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регей І. І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. Львів : Українська академія друкарства, 2011. 144 с.
2. Регей І. І. Енергоощадна технологія і засоби виготовлення розгорток картонного пакування: монографія. Львів: Українська академія друкарства, 2009. 78 с.
3. US Patent №9371149B2, IPC B65D3/06. Structure of paper cup – publ. Apr. 28, 2016. US 2016/0114929 A1.
4. Каталог виробника обладнання HÖRAUF. <https://www.hoerauf.com/en> (дата звернення 01.09.2025).
5. ДСТУ 8862:2019. Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови.
6. Главацький А. С., Задра В. М. Геометрична інтерпретація процесу прорізування отворів у картоні. *Поліграфія і видавнича справа*. Львів, 2001. №37. С. 78-82.
7. Задра В. М. Прорізування отворів у картоні (оптимізація енергосилових параметрів). *Упаковка*. К., 2003. №2. С. 30-31.
8. Книш О. Б., Слобода Т. В. Механіка руйнування картону при ножичному різанні з використанням гострого ножа та незагостреного контрножа. *Технологічні комплекси*. 2013. № 2. С. 117-122.
9. Регей І. І., Бегень. П. І. Оцінка силового навантаження в пристроях фальцювання розгорток з картону. *Упаковка*. 2012. № 3. С. 42–44.
10. Bonifer, J., Tanninen, P., and Leminen, V. (2024). “Effect of material properties on the paper cup manufacturing process,” *BioResources* 19(4), 8493–8511.
11. Ramasubramanian, R., and Swecker, M. (2001). “Mechanics of brim forming in paperboard containers – An experimental investigation,” *Journal of Manufacturing Science* 27, 113-117.
12. Vishtal, A., Hauptmann, M., Zelm, R., Majschak, J., and Retulainen, E. (2014). “3D forming of paperboard: The influence of paperboard properties on formability,” *Packaging Technology and Science* 27(9), 677-691. DOI: 10.1002/pts.2056.
13. Zade, Nikhil. (2021). Review on Paper Cup Manufacturing Process for Industry Automation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 9. 850-853. 10.22214/ijraset.2021.33561.
14. Kolomiets A. B., Kandiak N. M., Kotovskii O. O. Experimental stand for research of forming process of a printed carton packaging // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези*

- допов. IV Міжнародної науково-технічної конференції, 14-17 травня 2019 р., м. Харків. – Харків: «Друкарня Мадрид», 2019. Т1. С. 26-27.
15. Кандяк Н. М., Коломієць А. Б., Котовський О. О. Засоби керування кроковим двигуном та вимірювання зусиль під час дослідження процесу згинання аркушевого матеріалу. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 7(38), ч. I. Кропивницький, 2023. С. 37-44. doi: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44.
16. Голдак Л. Б., Коломієць А. Б. Завдання комплексних досліджень механізмів в обладнанні для виготовлення конічних картонних контейнерів. Abstracts of XIX International Scientific and Practical Conference. Krakow, Poland. Pp. 239-241.
17. Коломієць А. Б., Шустикевич А. І., Голдак Л. Б. Особливості формування донної частини конічних паперових харчових ємкостей. *Наукові записки*, № 1 (70), НУЛП, 2025, С. 205-212. doi: 10.32403/1998-6912-2025-1-70-205-212.
18. Полюдов О. М., Кузнецов В. О., Коломієць А. Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональних комп'ютерах : навчальний посібник. – Львів : УАД, 2004. 96 с.

REFERENCES

1. Rehei I.I. (2011) Spozhyvche kartonne pakovannia (materialy, proektuvannia, obladdnannia dlia vyhotovlennia) : navch. posib. Lviv : Ukrainska akademiia drukarstva. 144 s. (in Ukrainian).
2. Rehei I. I. (2009) Enerhooshchadna tekhnolohiia i zasoby vyhotovlennia rozghortok kartonnoho pakovannia: monohrafiia. Lviv: Ukrainska akademiia drukarstva. 78 s. (in Ukrainian).
3. US Patent №9371149B2, IPC B65D3/06. Structure of paper cup – publ. Apr. 28, 2016. US 2016/0114929 A1. (in English).
4. Equipment manufacturer HÖRAUF catalogs. <https://www.hoerauf.com/en>.
5. DSTU 8862:2019. Vyroby z paperu sanitarno-hihienichnoi ta pobutovoi pryznachenosti. Tekhnichni umovy. (in Ukrainian).
6. Hlavatskyi A. S., Zadra V. M. (2001) Heometrychna interpretatsiia protsesu prorizuvannia otvoriv u kartoni. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*. Lviv. №37. S. 78-82. (in Ukrainian).
7. Zadra V. M. (2003) Prorizuvannia otvoriv u kartoni (optymizatsiia enerhosylovykh parametriv). *Upakovka*. K., №2. S. 30-31. (in Ukrainian).
8. Knysh O. B., Sloboda T. V. (2013) Mekhanika ruinuвання kartonu pry nozhychnomu rizanni z vykorystanniam hostroho nozha ta nezahostrenoho kontrnozha. *Tekhnolohichni komplekсы*. № 2. S. 117-122. (in Ukrainian).
9. Rehei I. I., Behen. P. I. (2012) Otsinka sylovoho navantazhennia v prystroiakh faltsiuвання rozghortok z kartonu. *Upakovka*. 2012. № 3. S. 42–44. (in Ukrainian).
10. Bonifer, J., Tanninen, P., and Leminen, V. (2024). "Effect of material properties on the paper cup manufacturing process," *BioResources* 19(4), 8493–8511.
11. Ramasubramanian, R., and Swecker, M. (2001). "Mechanics of brim forming in paperboard containers – An experimental investigation," *Journal of Manufacturing Science* 27, 113-117.
12. Vishtal, A., Hauptmann, M., Zelm, R., Majschak, J., and Retulainen, E. (2014). "3D forming of paperboard: The influence of paperboard properties on formability," *Packaging Technology and Science* 27(9), 677-691. DOI: 10.1002/pts.2056.

13. Zade, Nikhil. (2021). Review on Paper Cup Manufacturing Process for Industry Automation. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 9. 850-853. 10.22214/ijraset.2021.33561.
14. Kolomiets A. B., Kandiak N. M., Kotovskii O. O. (2019) Experimental stand for research of forming process of a printed carton packaging. *Polihrafichni, multymediini ta web-tekhno-logii: tezy dopov. IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, 14-17 travnia 2019 r., m. Kharkiv. – Kharkiv: «Drukarnia Madryd», 2019. T1. S. 26-27.
15. Kandiak N. M., Kolomiets A. B., Kotovskyi O. O. (2023) Zasoby keruvannia krokovym dvyhunom ta vymiriuvannia zusyl pid chas doslidzhennia protsesu zghynannia arkushevoho materialu. *Tsentrálnoukraiński naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. 2023. Vyp. 7(38), ch. I. Kropyvnytskyi, 2023. S. 37-44. doi: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44.
16. Holdak L. B., Kolomiets A. B. (2025) Zavdannia kompleksnykh doslidzhen mekhanizmv v obladdanni dlia vyhotovlennia konichnykh kartonnykh konteineriv. Abstracts of XIX International Scientific and Practical Conference. Krakow, Poland. Pp. 239-241. (in Ukrainian).
17. Kolomiets A. B., Shustykevych A. I., Holdak L. B. (2025) Osoblyvosti formuvannia donnoi chastyny konichnykh papirovykh kharchovykh yemkosteï. *Naukovi zapysky*, № 1 (70), NULP, 2025, S. 205-212. doi: 10.32403/1998-6912-2025-1-70-205-212. (in Ukrainian).
18. Poliudov O. M., Kuznietsov V. O., Kolomiets A. B. (2004) Rozrakhunky tsyklovykh mekhanizmv polihrafichnykh i pakuvalnykh mashyn na personalnykh kompiuterakh : navchalnyi posibnyk. – Lviv : UAD, 2004. 96 s. (in Ukrainian).

doi: 10.32403/2411-3611-2025-2-48-96-106

EXPERIMENTAL STUDIES ON BENDING CARDBOARD BY PUSHING IT THROUGH A MATRIX

A. B. Kolomiets, N. M. Kandiak, L. B. Holdak, O. O. Kotovskii

*Lviv Polytechnic National University,
12, Stepan Bandera St., L'viv, 79000, Ukraine
kolanbor@gmail.com*

A research stand has been developed to conduct research on the phenomena that accompany the bending of cardboard / paper during the manufacture of the bottom part of food containers and containers. A universal experimental stand for studying the properties of corrugated cardboard has been adapted to another material – folding cardboard; a program of experimental research has been developed aimed at determining the linear specific load when bending a flat material by 90 degrees perpendicularly and across paper fibers. The stand consists of a frame, a stepper motor, a rack and pinion drive, a tool part, and an electronic part for controlling the drive. Force measurements were performed using strain gauges mounted on a special beam, which is attached to a moving carriage on one side and to a punch on the other side. It is possible to change the tool part in the stand. It was also possible to change the edge of the tools. Matrices

and punches in the form of plates with different edges were installed in pairs. Cardboard plates with a thickness of 0.25-0.5 mm were bent into a U-shaped shape. The moving punches were given linear motion with different speeds, as well as with different laws of periodic motion.

Characteristic diagrams for bending forces were found, which represent an unequal pyramid with one or two peaks. Specific (linear) resistance forces were determined for samples with transverse and longitudinal fiber directions relative to the bending lines. The prerequisites have been created for the second stage of experimental research into bending cardboard blanks into a cup-shaped bottom for food containers. It was found that the force oscillograms look similar for different fiber directions, usually have two peak values, while increasing the speed of punch movement, the dependence has one peak; for translational movement, the specific bending force ranges from 9.69 N/mm (for cardboard with a thickness of 0.35 mm) to 25.78 N/mm (for cardboard with a thickness of 0.5 mm).

Previous studies have revealed a slight effect of the speed of punch movement during bending of a paper plate. Trend lines have been determined. The closest polynomial functions of the 3rd degree turned out to be, their equations are given in the graphs.

Keywords: *research, paper, bending, plate, force, dimensions, stand, tool, measuring.*

Стаття надійшла до редакції 13.10.2025.

Received 13.10.2025.