

## АНОТАЦІЯ

**Коваль Т.В. Удосконалення обладнання для виготовлення великоформатних розгорток тари ножичним різанням заготовок з гофрованого картону.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». Українська академія друкарства, Львів, 2021.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу обґрунтування раціональних параметрів технологічного процесу та засобу ножичного різання заготовок з гофрованого картону для створення універсального обладнання з виготовлення великоформатних розгорток тари.

Актуальність обраної тематики продиктована об'єктивними потребами забезпечення сучасного ринку засобами пакування з гофрованого картону, домінуючі позиції якого ґрунтуються на зменшенні затрат енергетичних і сировинних ресурсів, забезпеченні конкурентоздатності картонної тари серед інших видів пакувань. Мінімізація цих затрат позитивно позначиться на екологічній ситуації (зменшення витрат сировини), на собівартості картонної тари (зниження затрат на електроенергію, витрат часу на переналагоджування).

Констатовано, що традиційна технологія штанцювання розгорток при виготовленні картонної тари з гофрокартону, попри ряд переваг, має недоліки. Її основним технологічним інструментом є штанцювальна форма, яка потребує повної заміни при організації виготовлення розгорток іншої конструкції. Штанцювальні преси, внаслідок одночасного виконання комплексу операцій (деформування ежекторних подушок, висікання розгорток уздовж контуру, бігування ліній згину), переборюють значні технологічні опори, що призводить до значної металомісткої побудови та енергозатратності обладнання.

Проаналізовано процес виготовлення розгорток тари з гофрованого картону на ротаційному обладнанні, укомплектованому циліндрами з

інструментами у вигляді сегментів для просікання клапанів. Констатовано, що і штанцювальне, і ротаційне просікальне обладнання обмежені форматом робочої зони, що унеможливорює продукування великоформатних розгорток тари з гофрованого картону з суцільних заготовок. Як результат – великоформатні розгортки з гофрокартону виготовляють з декількох окремих, які з'єднують в одну, що ускладнює як технологічний процес, так і негативно впливає на жорсткість, геометричну точність та вартість тари з гофрокартону.

Виокремлено за результатами аналізу наукових досліджень в області продукування розгорток картонної тари два напрями наукових пошуків: впровадження нових способів їх виготовлення та вдосконалення технічної сторони існуючих технологій за рахунок нових науково обґрунтованих рішень в існуючому обладнанні. Констатовано, що частина праць зосереджена на удосконаленні існуючої технології штанцювання розгорток з картону, проте вони не вирішують задачу виготовлення великогабаритної тари з гофрокартону. Інші наукові праці розкривають принципово нові способи виготовлення картонних розгорток, але вони не враховують особливостей продукування великогабаритної гофротари. Встановлено аналізом наукових досліджень процесу розділення листових напівфабрикатів дисковими ножами, що існуючі напрацювання не враховують особливостей взаємодії інструментів з гофрокартоном, що має порожнистий шар – флютинг.

Запропоновано варіант усунення існуючих недоліків при виготовленні великогабаритних розгорток з гофрокартону шляхом застосування ножичного різання картонних заготовок, зафіксованих на нерухомих протиножах, дисковими рухомими інструментами, закріплених на валу кареток, що виконують зустрічний рух. Досліджено кінематичні параметри кривошипно-повзунного механізму привода каретки з дисковими інструментами. Створено математичні моделі для дослідження швидкості обробки гофрованого картону дисковим інструментом при врзанні в матеріал, різанні середнього та прорізуванні нижнього шарів. За результатами аналітичних досліджень

отримано значення відносної швидкості обробки гофрокартону різанням для різних розмірів дискового інструмента, товщини гофрокартону та перекриття їх різальних лез.

Досліджено, що використання, як привод, кривошипно-повзунного механізму для виготовлення великоформатних розгорток з гофрованого картону супроводжується інерційними навантаженнями, а сам процес відбувається у нестабільних умовах взаємодії дискових інструментів з матеріалом, що може негативно впливати на забезпечення потрібної якості його обробки.

Запропоновано для забезпечення розширених технічних можливостей функціонування засобу виготовлення великоформатних розгорток комплектувати його комбінованим двокривошипним шарнірним механізмом з коректувальним кулачковим, що уможливорює реалізацію зміни довжини умовного шатуна механізму. Для синтезу комбінованого двокривошипного механізму з програмованою зміною довжини шатуна використано спеціальне програмне забезпечення, створене в програмі *AutoCAD* з використанням мови *AutoLisp*. Її можливості підсилено використанням системи *Dialog Control Language*, яка забезпечує створення та активне використання діалових вікон.

Отримано за результатами дослідження відносних кінематичних параметрів двокривошипного механізму з програмованою зміною довжини шатуна раціональну геометричну побудову комбінованого механізму з вихідним повзунним. Комп'ютерним профілюванням кулачкового паза у виділених досліджуваних позиціях встановлено, що значення кута тиску в парі «ролик-кулачок» та відносного радіуса кривини еквідистанти паза кулачка відповідають умовам стабільного функціонування привода кареток з дисковими інструментами в засобі виготовлення великоформатних розгорток з гофрованого картону.

Розроблено та виготовлено експериментальний стенд для дослідження різання заготовок з гофрованого картону рухомим дисковим інструментом з

використанням нерухомих протиножів. Її конструкцією передбачена реалізація можливості зміни лінійної швидкості переміщення каретки з дисковим інструментом із забезпеченням отримання потрібної якості різання заготовок.

Розроблено програму та проведено експериментальні дослідження ножичного різання заготовок з різних видів гофрованого картону (кількість шарів, тип та товщина) та виявлено вплив на момент сили різання різних факторів (напрямок гофрованого шару, швидкість та величина перекриття інструментів).

Застосовано сучасні методи проведення експериментальних досліджень, апаратне та програмне забезпечення уможливили отримання достовірних значень моментів сил різання з мінімальною похибкою вимірювань.

Оцінено якісні та кількісні параметри значень моментів сили на головному валу експериментального пристрою, що виникають під час різання заготовок з гофрованого картону. Визначено вплив виду гофрованого картону, його товщини та напрямку розташування флютингу на значення крутних моментів. Встановлено, що в процесі прорізування пазів упоперек (вздовж) флютингу дисковим ножом діаметром 104 мм на швидкості 0,4 м/с крутний момент становить 2,13 Нм (1,15 Нм) для тришарового гофрокартону завтовшки 2,9 мм за умови перекриття інструментів 0,25 мм, а для п'ятишарового зразка завтовшки 7,2 мм 4,55 Нм (3,38 Нм).

Експериментальним шляхом встановлено вплив швидкості переміщення дискового інструмента на величину моменту сили різання. Збільшення швидкості переміщення дискового інструмента істотного не впливає на нього. Досліджено, що збільшення швидкості переміщення дискового інструмента в межах 0,2 – 0,4 м/с спричинює збільшення моменту сили різання на 10 %. Отримані експериментальним шляхом результати знаходяться в межах 5 – 7 % похибки стосовно результатів попередньо проведених аналітичних досліджень.

Досліджено характер площинного зусилля деформування гофрокартону та лінійного зусилля різання в процесі прорізування пазів. Встановлено, що напрямок розташування гофри впливає на величину площинної сили деформування. Так, на етапі деформування гофрокартону більші значення площинних зусиль деформування спостерігаються вздовж напрямку гофри для п'ятишарового гофрокартону. При прорізуванні лінійні зусилля різання більші поперек гофри, хоча їх переважання незначне (5...9 %).

Встановлено вплив технологічних і параметрів конструкції засобу різання на енергосилові показники при виконанні операції прорізування гофрокартону. Виявлено, що збільшення радіуса прорізного інструмента з 50 до 100 мм зменшує площинні зусилля деформування картону з 0,6 до 0,3 Н/мм<sup>2</sup>, а лінійні зусилля різання змінює аналогічним чином з 11,7 до 5,9 Н/мм (в середньому на 50 %). Констатовано, що для прорізування пазів у гофрованому картоні доцільно застосовувати дисковий інструмент радіусом від 100 до 150 мм.

Проаналізовано вплив параметра перекриття інструментів на значення площинних зусиль деформування картону та лінійних різання. Встановлено, що збільшення перекриття інструментів з 0,25 мм до 4 мм зменшує значення площинних зусиль деформування матеріалу з 0,34 до 0,27 Н/мм<sup>2</sup>, а лінійних зусиль різання з 7,72 до 5,34 Н/мм. На основі отриманих результатів рекомендовано значення перекриття різальних лез інструментів у діапазоні 1...3 мм.

Проведено комплексне дослідження витрат кінетичної потужності при прорізуванні пазів у заготовках з гофрокартону, в якому поєднано результати аналітичних і експериментальних досліджень. Отримано фіксовані значення трьох складових кінетичної потужності. Так, для п'ятишарового гофрокартону завтовшки 7,2 мм при прорізуванні пази дисковим інструментом ( $R = 250$  мм) поперек гофрованого шару кінетична потужність подолання технологічного опору складає 254,4 Вт, інерційних сил поступальних ланок – 791,3 Вт, інерційних сил оберткових ланок – 641,8 Вт. Проведено порівняльний аналіз

кількісних показників кінетичної потужності. На його основі встановлено, що при виготовленні відносно невеликих пазів (до 200 мм) у заготовках з гофрокартону переважають значення кінетичної потужності, що тратиться на подолання технологічного опору, а при виготовленні пазів відносно великих розмірів (500 мм і більше) – переважає кінетична потужність на подолання сили інерції маси каретки з інструментами. Обчислено середнє значення потужності привода протягом робочого циклу операції прорізування пазів, що складає 0,45 кВт.

**Ключові слова:** гофрований картон, великоформатна розгортка, штанцювання, дисковий інструмент, протиножі, площинне зусилля деформування, лінійне зусилля різання, кінетична потужність.