

Обґрунтування раціональних параметрів пристроїв формоутворення і транспортування картонних пачок у пакувальних машинах

А.В. Зворська, науковий керівник — проф. О.М. Гавва, д.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Вступ. Сьогодні на ринку пакувальних матеріалів з'явилась тенденція до створення і використання існуючих екологічно чистих матеріалів. Тому така упаковка, як картонна пачка стає знову актуальною і повертає втрачені позиції.

Існує три основних способи пакування продукції в картонну пачку:

- з виготовленням пачки безпосередньо з рулону пакувального матеріалу;
- з виготовленням та формоутворенням пачки з попередньо виготовленої висічки;
- з формоутворенням пачки з попередньо виготовленої плоскоскладеної заготовки.

За першим способом працюють пакувальні машини, які безпосередньо виготовляють пачку з рулонного картону. Сьогодні такі машини майже не використовуються.

Пакувальні машини, що реалізують другий спосіб, мають періодичний принцип дії і, як правило, виконані з роторною та лінійно-роторною компоновкою. Характеризуються доволі складною кінематикою, наявністю великої кількості виконавчих механізмів з кулачками, що стримує можливості збільшення продуктивності. Найбільшого поширення вони набули не для картонних пачок, а для коробок типу «стакан-кришка».

Пакувальні машини, що реалізують третій спосіб формування пачки, використовують плоскоскладені картонні заготовки, склеєні по поздовжньому шву, мають часто безперервний принцип дії. Всі операції з формоутворення пачки, фасування продукції тощо, виконуються без зупинки транспортної системи, що різко знижує (порівняно з обладнанням дискретної дії) динамічні навантаження і забезпечує можливість збільшення продуктивності.

Актуальність теми. Машини для пакування продукції в картонні пачки, виготовлені з плоскоскладених заготовок, набувають все більшого поширення і мають попит серед виробників харчової та фармацевтичної галузей промисловості. Конструювання та визначення раціональних параметрів таких машин є пріоритетним завданням для проведення досліджень. У процесі формоутворення пачки на її бічні грані та ребра діють статичні та динамічні навантаження з боку робочих органів відповідних механізмів пакувальної машини. Цей спектр навантажень повинен сприяти нормальному протіканню процесу формоутворення за мінімально короткий проміжок часу для забезпечення максимальної продуктивності пакувальної машини. При цьому величина навантажень на окремі елементи пачки не повинна перевищувати деяких граничних значень, за яких можливе

пошкодження пачки, втрата нею заданої форми і розмірів. Силowe навантаження картонної пачки під час реалізації операцій пакування розглянуто недостатньо, зокрема при максимальних значеннях кінематичних параметрів робочих органів. Тому, актуальним завданням досліджень на сучасному етапі розвитку пакувальних машин зазначеного типу є дослідження динаміки процесів пакування, зокрема процесів формоутворення картонної пачки, з метою досягнення максимальної продуктивності машин при обмеженні силового навантаження на елементи пачки і забезпечення високої якості пакування.

Матеріали і методи. Вивчення силового навантаження на елементи картонної пачки від дії робочих органів механізму формоутворення пачки з плоскоскладеної заготовки не можливо проводити без урахування сил опору деформаціям згину елементів пачки по лініях бігування.

На рис. 1. показані окремі етапи процесу формоутворення картонної пачки з плоскоскладених заготовок та силowe навантаження при цьому.

У плоскоскладеній заготовці (рис.1а) після згинання картонної висічки по лініях бігування і проклеювання поздовжнього шва, протилежні ребра В і О перебувають у деформованому стані, лінії А і С лишаються недеформованими. Одразу після згинання завдяки залишковим напруженням у деформованих ребрах відбувається часткова релаксація ліній згину, і під дією остаточних лінійних моментів m_0 у ребрах В і D бокові грані заготовки прогинаються і плоскоскладена заготовка пачки «розкривається». Ступінь розкриття характеризується величиною кута φ_0 . Така властивість заготовок значно полегшує процес подальшого формоутворення картонних пачок.

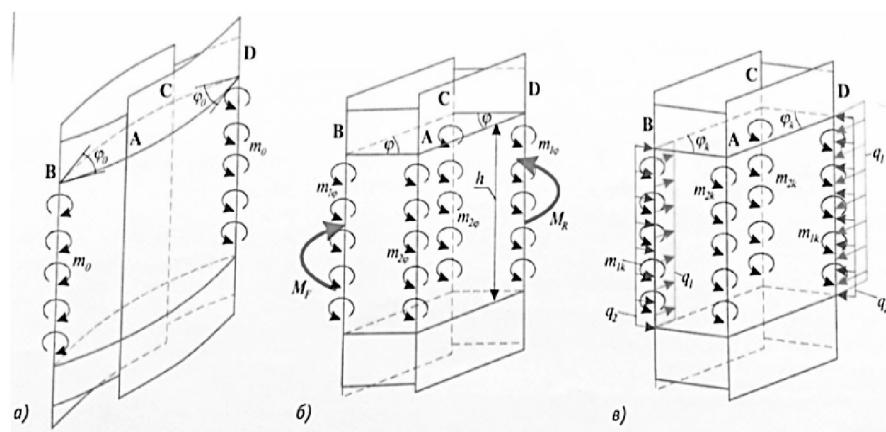


Рис. 1. Силowe навантаження пачки у процесі формоутворення: після виділення одиничної заготовки з масиву (а); при формуванні пачки (б); після встановлення сформованої пачки у вузол фіксації (в)

Однак при зберіганні плоскоскладених заготовок їх релаксаційні характеристики зменшуються, а при тривалому зберіганні — взагалі втрачаються ($m_0 = 0$ і $\varphi_0 = 0$). Заготовки злежуються, стають плоскими,

площина граней деформується. Це спричиняє певні труднощі при подальшому формоутворенні пачок.

Процес формоутворення картонних пачок із плоскоскладених заготовок за допомогою робочих органів пакувальної машини полягає у деформуванні останніх по лініях бігування (рис.1б). При цьому зовнішню силову дію робочих органів спрямовано на подолання моментів сил опору згинанню заготовки по лініях бігування. Тобто активний момент M_F дії робочих органів на заготовку дорівнює сумі моментів сил опору згинанню у всіх чотирьох ребрах і визначається залежністю:

$$M_F = 2(m_{1\varphi} + m_{2\varphi})h, \quad (1)$$

де $m_{1\varphi}$ і $m_{2\varphi}$ — лінійні моменти, що діють, відповідно, у попередньо деформованих і недеформованих ребрах заготовки; h — довжина ребер заготовки.

Величини лінійних моментів $m_{1\varphi}$ і $m_{2\varphi}$ визначаються фізико-механічними характеристиками картону, особливостями бігування і функціонально залежать від кута розкриття φ бокових граней заготовок. Тобто:

$$m_{1\varphi} = \varphi_1(\varphi); m_{2\varphi} = \varphi_2(\varphi) \quad (2)$$

У повністю сформованій пачці кут $\varphi_k = 90^\circ$, і в поздовжніх ребрах пачки діють лінійні моменти m_{1k} і m_{2k} , які компенсуються опорними площинами вузлів фіксації сформованих пачок, що чинить на пачку відповідну силову дію q_1 і q_2 .

Результати і обговорення. Для проведення дослідження процесу формоутворення картонної пачки та визначення надалі необхідних раціональних параметрів робочих органів пакувальної машини необхідно враховувати моменти сил опору деформаціям згину елементів пачки по лініях бігування. Їх аналітичне визначення супроводжується значними труднощами, спричиненими неоднорідністю картону, похибками бігування, складними внутрішніми деформаціями. Тому раціонально значення моментів сил опору згинанню по лініям бігування у кожному конкретному випадку для певного виду картону визначати експериментально.

Для цього був використаний прилад для визначення опору згину К-416 (рис. 1). Дані експерименту прилад К-416 відображає двома способами: шляхом виміру зусилля, необхідного для згинання зразка на заданий кут, або шляхом виміру і розрахунку жорсткості при згині, яка є еластичною властивістю матеріалу. Пристрій працює ось таким чином (рис. 3). Зразки Е розміщуються в затискний пристрій В і мають вигляд (рис. 4) картонного прямокутника шириною $(38,0 \pm 0,2)$ мм і довжиною не менше 70 мм. Зразки були отримані з висічок картонних пачок у машинному і поперечному напрямках в зоні ліній бігування. Після натискання кнопки «пуск», затискний пристрій захоплює зразок з одного боку. Опора утримує зразок на місці до

початку вимірювання. При вибраній функції автоторкання затискний пристрій повільно обертається до контакту вільного краю зразка з головкою С тензодатчика D. Потім затискний пристрій повертається на певний кут G, тобто зразок згинається на задану величину кута. Прилад запам'ятовує значення моменту опору (сил опору) згину заготовки в процесі вимірювання. Потім затискний пристрій повертається в початкове положення, розкривається і зразок вивільняється.

Вимірювальна величина може бути цілковито описана лише при необмеженій кількості інформації. Таким чином, визначення фізичної величини на практиці майже завжди неповне і робить внесок в невизначеність, яка може бути, а може і не бути значною, порівняно з необхідною точністю вимірювання. Вимірювання характеризується низкою недоліків, які призводять до похибки вимірювання. Внаслідок цього результат вимірювання відрізняється від вимірюваної величини.

Тому для обробки даних, отриманих у процесі проведення дослідження, доцільно використовувати метод найменших квадратів, який застосовується для наближеного представлення заданої функції іншими (простішими) функціями. Це один з методів регресійного аналізу для оцінки невідомих величин за результатами вимірів, що містять випадкові помилки.



Рис. 2. Прилад для визначення опору згину К-416

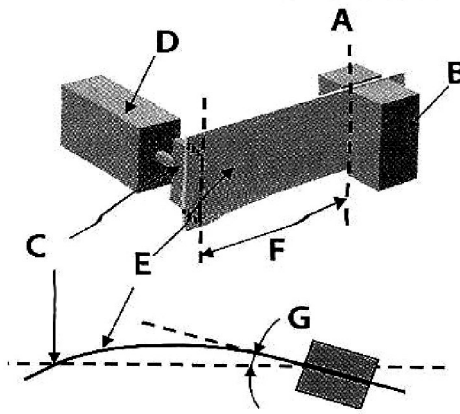


Рис. 3. Опір згину і жорсткості при згині: *A* — поворотна вісь, *B* — затискний пристрій, *C* — вимірювальна головка, *D* — тензодатчик, *E* — зразок, *F* — плече згину, *G* — кут згину

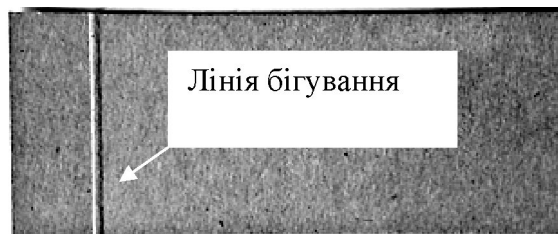


Рис. 4. Випробувальний зразок

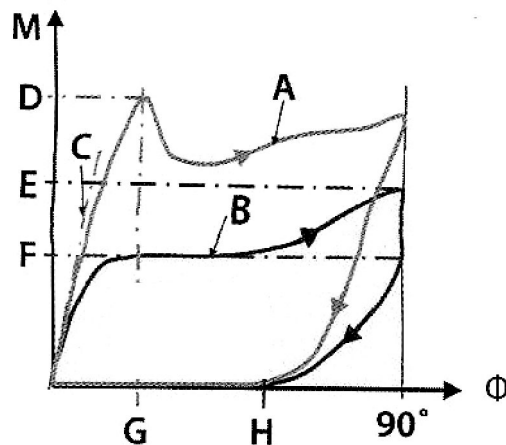


Рис. 5. Вимірювання моментів сил опору згину картону з та без лінії бігування: *A* — зразок без біговки, *B* — зразок з біговкою, *C* — жорсткість при згині, *D* — максимальний згинаючий момент (без бігування), *E* — згинаючий момент при куті 90° (з біговкою), *F* — згинаючий момент при релаксації (з біговкою), *G* — кут при максимальному згинаючому моменті (без біговки), *H* — кут при нульовому моменті за зворотного руху (з біговкою), *I* — робота згину (площа під кривою) з біговкою

Апроксимація отриманих даних виконана у вигляді тригонометричних поліномів, які описують залежність між моментом сил опору ліній бігування і кутом розкриття (рис. 6):

- для поздовжнього бігування:

$$M_{\text{сп}} = 6,206 \sin(\varphi/16) + 0,516\varphi - 3,644;$$

- для поперечного бігування:

$$M_{\text{оп}} = -12,378 \sin(\varphi/32) + 0,693\varphi + 5,976.$$

Ступінь точності підбору апроксимаційних функцій щодо експериментальних даних дорівнює 0,94.

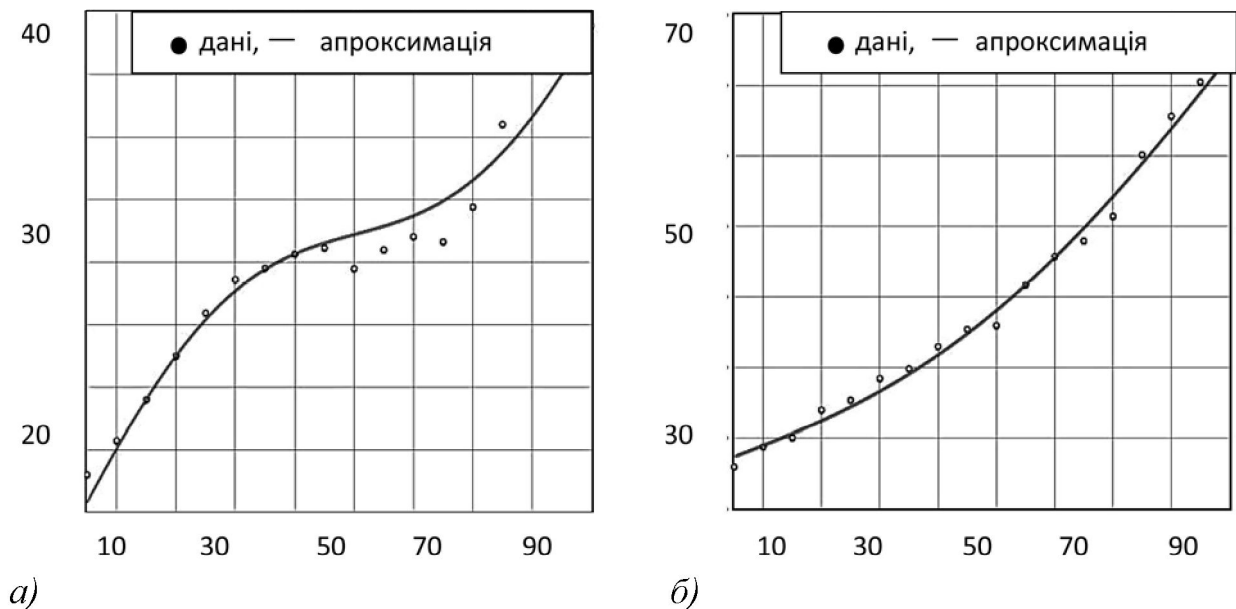


Рис. 6. Графік функції з використання тригонометричної апроксимації: для поздовжнього бігування (а), для поперечного бігування (б)

З графіків на рис. 6а видно, що момент сил опору ліній бігування при зміні кута φ від 0° до 40° стрімко зростає. Це пояснюється тим, що початок розкривання заготовки при $\varphi = 0^\circ$ супроводжується пружними деформаціями недеформованих ліній бігування. Зі збільшенням кута φ внутрішній опір ліній бігування зростає. Коли значення кута φ знаходиться в діапазоні від 40° до 60° , момент опору є майже сталим, адже злам ліній бігування вже відбувся. При значенні кута φ від 60° до 90° відбувається остаточне формоутворення прямокутної форми пачки, тому значення моментів сил опору знову зростає.

Висновки. Певна частина параметрів процесу формоутворення, зокрема значення моментів сил опору ліній бігування, у кожному конкретному

випадку визначаються експериментально. Результати експериментальних досліджень і геометричні та фізико-механічні характеристики заготовок надають змогу об'єктивно і точно визначати раціональні параметри робочих органів пакувальних машин, у яких реалізується технологічний процес формоутворення картонних пачок з плоскоскладених заготовок. На практиці значення моментів сил опору слід визначати експериментально, адже їх аналітичне визначення супроводжується значними труднощами, спричиненими неоднорідністю структури картону, похибками бігування, складними внутрішніми деформаціями тощо. Як правило, точність аналітичних розрахунків у цьому разі значно поступається точності результатів експериментальних досліджень.

Література

1. *Шредер В.Л.* Упаковка из картона / В.Л. Шредер, С.Ф. Пилипенко. — К.: ИАЦ «Упаковка» — 2004. — 560 с.
2. *Масло М.А.* Формоутворення картонних пачок при пакуванні // Упаковка. — 2005. — №4. — С. 42–44.