Поліграфічні машини

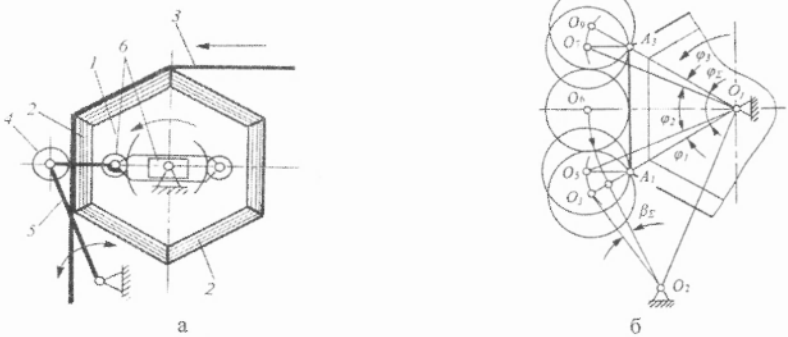
УДК 621.835

І.І.Регей

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАКОВАННЯ З КАРТОНУ БЕЗУПИННИМ СПОСОБОМ

Зростаючий попит на тару в нашій країні зумовлений насиченням ринку вітчизняними товарами. Варто відмітити, що пріоритетне використання паковання з паперу, картону та їх комбінацій з іншими матеріалами, особливо полімерними, спостерігається в усіх галузях споживання [3]. Широке використання паперово-картонної тари пов'язане з природними особливостями матеріалу, оскільки картон безпечний в екологічному плані, наділений можливістю повторної переробки, а процес його утилізації відносно простий і дешевий [7].

Однією з найважливіших операцій технологічного процесу виготовлення картонного паковання є висікання розгорток та бігування (перфорування) ліній згину, що виконується в пресах за допомогою плоских або ротаційних висікальних форм [1]. Найпоширенішим є висікальне устаткування з плоскими висікальними формами, при використанні якого виготовлення розгорток пов'язане зі значними технологічними навантаженнями, а наявність холостого ходу робочої плити преса знижує його продуктивність. Для мінімізації згаданих негативних явищ запропоновано висікальний пристрій (рис.1а), який забезпечує висікання розгорток з картонної стрічки, що подається з рулону, обкочуванням плоских форм, закріплених на гранях призми, притискним валиком [2].



а б

Рис.1. Пристрій для висікання картонних розгорток безупинним способом: а – схема пристрою (1 – призма; 2 – плоска висікальна форма; 3 – картонна стрічка; 4 – притискний валик; 5 – коромисло; 6 – кулачковий механізм); б – розрахункова схема

Аналіз процесу обкочування плоских форм притискним валиком засвідчив, що кут повороту φ_Σ (рис.1б) однієї грані призми характеризується трьома періодами [6]. Перший визначається кутом φ_1, другий і третій, відповідно, кутами φ_2 та φ_3, причому $\varphi_1 = \varphi_3$. Сумарний кут повороту грані залежить від числа граней на призмі. Для першого періоду характерне переміщення центра валика з точки O_3 в точку O_5, для другого – з O_5 в O_7, для третього – з O_7 в O_9. Кутове переміщення β_Σ коромисла складається з суми кутів $\beta_{1\Sigma}$ та $\beta_{2\Sigma}$, яка відповідає повороту призми на кут $0{,}5\varphi_\Sigma = \varphi_1 + 0{,}5\varphi_2$.

За наведеними в дослідженні [6] залежностями розраховано кінематичні параметри коромисла кулачкового механізму для пристрою з різним числом висікальних форм. Результати розрахунку відносної кутової швидкості коромисла графічно зображено на рис.2а, а відносного прискорення – на рис.2б.

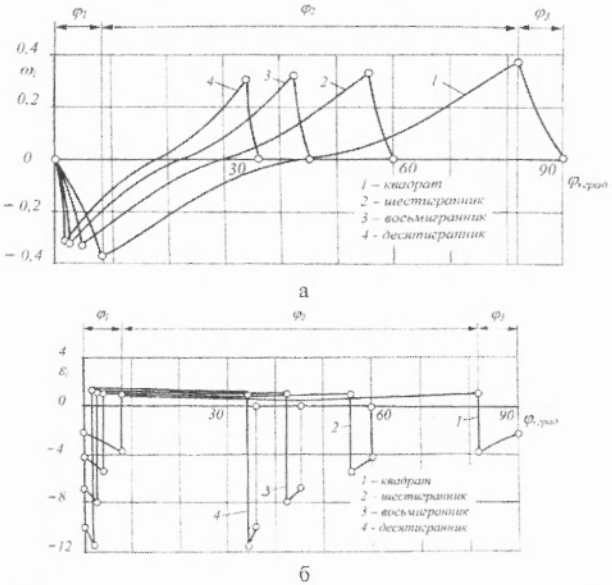


Рис.2. Вплив кута повороту призми на відносну кутову швидкість (а) та відносне кутове прискорення (б) коромисла

Як видно з графіків, обкочування валиком межі кутових періодів грані призми супроводжується піком кінематичних параметрів. Так, максимальна відносна кутова швидкість коромисла для пристрою з числом плоских висікальних форм 4, 6, 8 та 10 становить, відповідно, 0,37; 0,33; 0,32 та 0,31. Для значення кута $0{,}5\varphi_\Sigma$ повороту призми відносна кутова швидкість коромисла рівна нулю.

Аналіз графіків відносного кутового прискорення коромисла засвідчує наявність від'ємних піків: від $\varepsilon_{\cdot} = -11{,}57$ для пристрою, в якому на призмі

закріплено десять висікальних форм, до $\varepsilon_i = -3{,}80$ для призми, основою котрої є квадрат. Додатні піки відносного кутового прискорення коромисла для призми з максимальним та мінімальним (прийнятим у дослідженні) числом гранай становлять, відповідно, 1,25 та 1,07.

Різкі перепади прискорення породжують інерційні навантаження коромисла з притискним валиком, які можуть проявлятися в пульсуванні зусилля у зоні висікання розгорток, що може негативно впливати на якість виготовлюваних картонних розгорток.

Для мінімізації негативного впливу кінематики процесу обкочування валиком плоских висікальних форм, закріплених на гранях призми, запропоновано пристрій (рис.3), в якому кутове переміщення коромисла забезпечується пазовим кулачком, що знаходиться на осі призми, а потрібний притиск валика до висікальної форми – пружним елементом (торсіоном).

На етапі проектування пристрою необхідно синтезувати комбінований закон руху коромисла кулачкового механізму пристрою для забезпечення згладжування піків його кутового прискорення в моменти часу зміни періодів обкочування валиком плоскої висікальної форми.

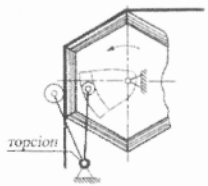


Рис.3. Схема модернізованого пристрою з пружним компенсатором коромисла

Виходячи з умов експлуатації пристрою й мінімізації піків прискорення коромисла кулачкового механізму, вибираємо неоднорідний, асиметричний, повний та гармонійний закон його періодичного руху (рис. 4).

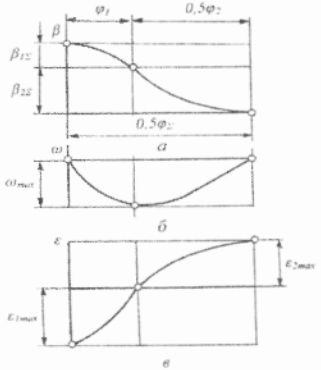


Рис.4. Графіки кутового переміщення (а), швидкості (б) та прискорення (в) коромисла кулачкового механізму

Запишемо умови комбінування, виходячи з геометричних і кінематичних залежностей

$$\beta_{1\Sigma} + \beta_{2\Sigma} = \beta_{\Sigma}, \tag{1}$$

$$\omega_{\max} = B_1 \frac{\beta_{1\Sigma}}{\varphi_1}\omega_1 = B_2 \frac{\beta_{2\Sigma}}{0{,}5\varphi_{\Sigma} - \varphi_1}\omega_1, \tag{2}$$

$$\frac{\varphi_1}{\omega_1} + \frac{0{,}5\varphi_{\Sigma} - \varphi_1}{\omega_1} = \frac{\varphi_{\Sigma}}{2 \cdot \omega_1} \tag{3}$$

або

$$T_{1\Sigma} + T_{2\Sigma} = 0{,}5T_{\Sigma},$$

де B_1, B_2 – константи піків швидкості в період розбігу та вибігу кулачкового механізму; ω_1 – кутова швидкість призми з висікальними формами; $T_{1\Sigma}, T_{2\Sigma}$ – час кутового переміщення коромисла протягом першого та другого періодів.

Якщо константа піка швидкості першого періоду відома за вибраним законом періодичного руху, то з (2)

$$B_2 = B_1 \frac{\beta_{1\Sigma}(0{,}5\varphi_{\Sigma} - \varphi_1)}{\beta_{2\Sigma} \cdot \varphi_1}. \tag{4}$$

Константу піка прискорення C_2 вибираємо згідно з рекомендаціями, наведеними в [4]. Закон руху коромисла на другому періоді потрібно синтезувати за геометричними характеристиками та константами B_2 і C_2. Оскільки поліноміальні функції найбільш точно забезпечують вирішення задачі синтезу, розглянемо одиничні діаграми в першій фазі кінематичного циклу (рис. 5 а – в) і запишемо умови:

1) при $k = 0{,}5$ $a_k = 0{,}5$,

2) при $k = 0{,}5$ $b_k = B_2$,

3) при $k = 0$ $c_k = C_2$,

4) при $k = 0{,}5$ $c_k = 0$.

Використовуємо закон періодичного руху – поліном 6-го степеня з чотирма невідомими коефіцієнтами A_i вигляду

$$a_k = A_2k^2 + A_3k^4 + A_4k^5 + A_5k^6, \tag{5}$$

де A_i – коефіцієнт полінома: $k = \frac{t}{T}$ – відносний час.

Після диференціювання (5)

$$b_k = 2A_2k + 4A_3k^3 + 5A_4k^4 + 6A_5k^5, \tag{6}$$

а після диференціювання (6)

$$c_k = 2A_2 + 12A_3k^2 + 20A_4k^3 + 30A_5k^4. \tag{7}$$

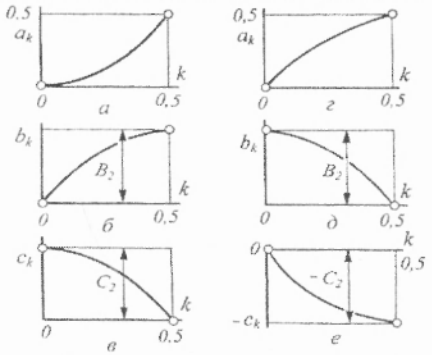


Рис.5. Одиничні діаграми кінематичних параметрів коромисла кулачкового механізму

Для плавного стикування законів періодичного руху коромисла криві інваріантів, зображені на рис.5 а – в, необхідно дзеркально розвернути відносно значення $k = 0{,}5$, тобто прийняти $k = (0{,}5 - k)$. Тоді з урахуванням умов синтезу та прийнятих значень $B_2 = 1{,}52$, $C_2 = 5{,}0$

$$\begin{cases} 0{,}5 = A_2(0{,}5-k)^2 + A_3(0{,}5-k)^4 + A_4(0{,}5-k)^5 + A_5(0{,}5-k)^6, \\ 1{,}52 = -2A_2(0{,}5-k) - 4A_3(0{,}5-k)^3 - 5A_4(0{,}5-k)^4 - 6A_5(0{,}5-k), \\ 5{,}0 = 2A_2 \\ 0 = 2A_2 + 12A_3(0{,}5-k)^2 + 20A_4(0{,}5-k)^3 + 30A_5(0{,}5-k)^4. \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язком системи рівнянь (8) є значення коефіцієнтів $A_2 = 2.5$; $A_3 = -6{,}0$; $A_4 = 13{,}6$ і $A_5 = -11.2$.

Таким чином, синтезований закон періодичного руху коромисла кулачкового механізму першого періоду описується косинусоїдальним законом, для якого інваріанти переміщення, швидкості та прискорення виражаються залежностями [5]

$$a_{k1} = 1 - 0{,}5[1 - \cos(\pi k)], \quad (9)$$

$$b_{k2} = -0{,}5 \cdot \pi \cdot \sin(\pi k), \quad (10)$$

$$c_{k1} = -0{,}5 \cdot \pi^2 \cdot \cos(\pi k), \quad (11)$$

а другого – поліноміальним законом з кінематичними інваріантами

$$a_{k2} = 2{,}5(0{,}5-k)^2 - 6(0{,}5-k)^4 + 13{,}6(0{,}5-k)^5 - 11{,}2(0{,}5-k)^6, \quad (12)$$

$$b_{k2} = -5(0{,}5-k) + 24(0{,}5-k)^3 - 68(0{,}5-k)^4 + 67{,}2(0{,}5-k)^5, \quad (13)$$

$$c_{k2} = 5 - 72(0{,}5-k)^2 + 272(0{,}5-k)^3 - 336(0{,}5-k)^4. \quad (14)$$

За результатом розрахунку інваріантів кінематичних параметрів за залежностями (9–14), виконаного в математичному редакторі Mathcad, отримано графіки функцій (рис.6).

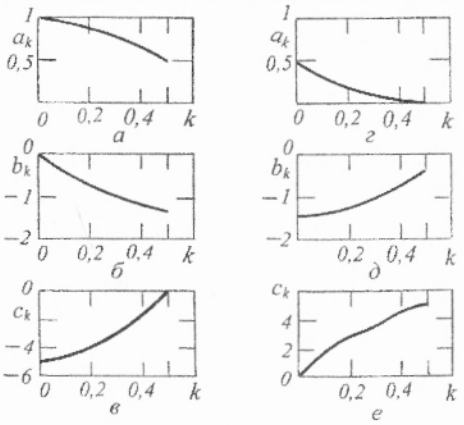


Рис. 6. Одиничні діаграми кінематичних інваріантів синтезованого закону періодичного руху коромисла

Як бачимо з діаграм, внаслідок синтезу закону періодичного руху коромисла досягнуто стикування кривих інваріантів його кутового переміщення, швидкості та прискорення на межі періодів кінематичного циклу, а також забезпечено плавність їх зміни протягом часу обкочування валиком плоскої висікальної форми.

Таким чином, отримано кінематичні залежності механізму для першого та другого етапів кутового переміщення коромисла:

$$\beta_1 = a_{k1} \cdot 2\beta_{1\Sigma}, \tag{15}$$

$$\omega_1 = b_{k1} \frac{\beta_{1\Sigma}}{T_{1\Sigma}}, \tag{16}$$

$$\varepsilon_1 = c_{k1} \frac{\beta_{1\Sigma}}{2 \cdot T_{1\Sigma}^2}, \tag{17}$$

$$\beta_2 = a_{k2} \cdot \beta_{2\Sigma}, \tag{18}$$

$$\omega_2 = b_{k2} \frac{\beta_{2\Sigma}}{T_{2\Sigma}}, \tag{19}$$

$$\varepsilon_2 = c_{k2} \frac{\beta_{2\Sigma}}{2 \cdot T_{2\Sigma}}, \tag{20}$$

де відносний час першого та другого періодів $k_1 = \frac{\varphi}{2\varphi_1}$, $k_2 = \frac{\varphi}{0{,}25\varphi_\Sigma - 2\varphi_1}$.

Отже, за результатами дослідження запропоновано ефективний пристрій для виготовлення розгорток паковання з картонної стрічки, що подається з рулону, шляхом обкочування плоских висікальних форм притискним валиком. Аналіз процесу обкочування межі кутових періодів форми засвідчив наявність прискорення коромисла, що може породжувати пульсування

зусилля в зоні висікання розгорток. Для мінімізації можливого негативного впливу прискорення коромисла притискного валика на стабільність процесу висікання розгорток доцільно використовувати кулачковий механізм приводу притискного валика з пружним елементом. Запропоновано комбінований закон періодичного руху коромисла й виконано його синтез на ділянці обкочування валиком призми. За результатом розрахунку інваріантів кінематичних параметрів отримано одиничні діаграми функцій, що плавно стикуються.

Рекомендований пристрій для безупинного виготовлення розгорток з картонної стрічки, що подається з рулону, з наведеною методикою синтезу закону періодичного руху кулачкового механізму формують базу для інженерних розрахунків і проектування устаткування для виготовлення картонного пакування ефективним способом обкочування плоских висікальних форм притискним валиком.

1. Арабський Р.С., Арабський Ю.С. Штампи для висікання картонних упаковок. Л., 1996. 2. Деклараційний патент № 58934 України. Пристрій для виготовлення розгорток картонних паковань / Полюдов О.М., Регей І.І., Угрин Я.М. Опубл. 15.08.03. Бюл. № 8. 3. Кривошей В.М. Упаковка в нашому житті. К., 2001. 4. Полюдов О.М., Кузнецов В.О. Автоматизоване проектування кулачкових механізмів. Л., 1999. 5. О.М.Полюдов. Механіка поліграфічних автоматів: Навчальний посібник. К., 1991. 6. Полюдов О.М., Регей І.І. Синтез механізму притискного валика пристрою для висікання розгорток картонних паковань безвистійним способом // Поліграфія і видавнича справа. 2003. №40. С. 7–14. 7. Шредер В.Л., Йованович К.С. Картон. Тара и упаковка. К., 1999.