

УДК 686.12

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ КАРТОНУ КРУГОВИМ НОЖЕМ

Я.М. Угрин

Описується новий ножицеподібний спосіб виготовлення картонних упаковок. Визначено вплив геометричних параметрів різального вузла на процес різання картону круговим прорізувальним ножом. Рекомендовано найбільш раціональні геометричні параметри різального вузла.

Описывается новый ножицеподобный способ изготовления картонных упаковок. Определено влияние геометрических параметров резального узла на процесс резания картона круговым прорезным ножом. Рекомендованы наиболее рациональные геометрические параметры резального узла.

Більшість традиційних технологічних процесів виготовлення упаковок вимагає використання метало- і енегromісткого устаткування. На кафедрі поліграфічних машин Української академії друкарства спроектовано устаткування для виготовлення картонних розгорток на базі технологічного процесу, який передбачає використання ножицеподібного способу вирізування розгорток. Застосування цього способу дозволяє суттєво зменшити зусилля вирізування, а внаслідок цього спроектувати низькоенергозатратне устаткування. При ножицеподібному способі вирізування картонних розгорток використовують прорізувальні (точка різання переміщається в площині, перпендикулярній до осі обертання ножового вала) і відрізувальні (точка різання переміщається під кутом або паралельно до осі обертання) ножі.

Виготовлення деяких типів картонних розгорток передбачає використання вирізувального інструмента, що складається з рухомого кругового прорізувального ножа 1 (рис.1) і нерухомого протиножа 2, на якому фіксується заготовка. 3. Геометрія вирізувального інструмента характеризується такими параметрами: r — відстань від осі обертання ножового вала до центра дуги ножа O_1 ; R — радіус дуги ножа; δ — кут загострення ножа; b — відстань від осі обертання ножового вала O до попереднього поля картону; h — товщина картону. Метою

Тоді формула інваріанта переміщення точки різання отримає вигляд

$$S_i = S(\varphi) = \cos \varphi + \lambda_1 \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \lambda_3, \quad (4)$$

де $\lambda_3 = \frac{b}{r}$ — відносний геометричний параметр.

Графіки залежностей інваріанта переміщення точки різання S_i як функції кута повороту ножа φ для значень $\lambda_1 = 1, \lambda_3 = 0$; $\lambda_1 = 1,25, \lambda_3 = 0,25$; $\lambda_1 = 1,6, \lambda_3 = 0,67$; $\lambda_1 = 2,5, \lambda_3 = 1,5$ (відповідно, криві 1, 2, 3, 4) наведені на рис. 2,а.

Діапазон значень відносних геометричних параметрів вибирається виходячи з конструктивних параметрів вирізувального інструмента. З роботи [2] відомо, що інваріант швидкості точки різання має вигляд

$$V_i = \sin \varphi + \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \left[\arcsin \left(\frac{\sin \varphi - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \right]. \quad (5)$$

Залежність інваріанта швидкості точки різання як функції кута повороту ножа φ для значень $\lambda_1 = 1$; $\lambda_1 = 1,25$; $\lambda_1 = 1,6$; $\lambda_1 = 2,5$ (відповідно, криві 1, 2, 3, 4) графічно подана на рис. 2,б. Відносний геометричний параметр у розрахунках до уваги не брали, оскільки його вплив на кінцевий результат не перевищував 5%.

Аналіз графіків показує, що збільшення кута повороту прорізувального ножа приводить до переміщення точки різання, причому інваріант її швидкості спочатку різко зростає до значення $V_i = 1,8$ при $\lambda_1 = 1$ і $V_i = 1,06$ при $\lambda_1 = 2,5$ для $\varphi = 75^\circ$, після чого монотонно спадає для $\lambda_1 = 2,5$ і має різкий перепад для $\lambda_1 = 1$.

Рівняння контуру робочої ділянки ножа має вигляд [1]

$$(x - r \cdot \cos \varphi)^2 + (y - r \cdot \sin \varphi)^2 = R^2. \quad (6)$$

Тангенс кута врізування визначаємо шляхом диференціювання координати x :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r \cdot S_i + b - r \cdot \cos \varphi}{\sqrt{R^2 - (r \cdot S_i + b - r \cdot \cos \varphi)^2}}, \quad (7)$$

звідки

$$\gamma = \arctg \left[\frac{S_i + \lambda_3 - \cos \varphi}{\sqrt{\lambda_1^2 - (S(\varphi) + \lambda_3 - \cos \varphi)^2}} \right]. \quad (8)$$

Залежність зміни кута врізування γ як функції кута повороту φ при значеннях $\lambda_1 = 1, \lambda_3 = 0$; $\lambda_1 = 1,25, \lambda_3 = 0,25$; $\lambda_1 = 1,6, \lambda_3 = 0,67$; $\lambda_1 = 2,5, \lambda_3 = 1,5$ (відповідно, криві 1, 2, 3, 4) графічно зображена на рис. 2,в.

Аналіз графіків показує, що із збільшенням кута повороту прорізувального ножа значення кута врізування плавно зменшується від $\gamma = 90^\circ$ до мінімального значення для $\varphi = 90^\circ$. Для $\lambda_1 = 2,5$ і $\lambda_3 = 1,5$ $\gamma_{\min} = 67^\circ$ (крива 4), а для $\lambda_1 = 1$ і $\lambda_3 = 0$ $\gamma_{\min} = 8,23^\circ$ (крива 1). На ділянці $90^\circ < \varphi < 180^\circ$ значення кута врізування знову плавно збільшується до $\gamma = 90^\circ$.

Рівняння бічної поверхні конуса, який утворюється в результаті загострення диска радіусом R з центром в точці O_1 під кутом δ , має вигляд

$$(x - r \cdot \cos \varphi)^2 + (y - r \cdot \sin \varphi)^2 = \frac{Z - R \cdot \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (9)$$

Переріз цього конуса площиною $x = a$ (переріз Б—Б) описується рівнянням

$$Z = R \cdot \operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \delta \cdot \sqrt{(a - r \cdot \cos \varphi)^2 + (y - r \cdot \sin \varphi)^2}. \quad (10)$$

З формули (8) шляхом диференціювання знаходимо тангенс дійсного кута різання:

$$\operatorname{tg} \mu = \left(\frac{dz}{dy} \right)_{y=h} = \operatorname{tg} \delta \frac{h - r \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(a - r \cdot \cos \varphi)^2 + (h - r \cdot \sin \varphi)^2}}. \quad (11)$$

Звідси дійсний кут різання визначаємо залежністю

$$\mu = \operatorname{arctg} \left[\frac{-\operatorname{tg} \delta - (\lambda_2 - \sin \varphi)}{(S_i + \lambda_3 \cdot \cos \varphi)^2 + (\lambda_2 - \sin \varphi)^2} \right]. \quad (12)$$

Графіки залежностей зміни дійсного кута різання μ як функції кута повороту φ при значеннях $\lambda_3 = 0; 0,25; 0,67; 1,5$ і $\delta = 45^\circ$ (відповідно, криві 1, 2, 3, 4) зображені на рис. 2, г.

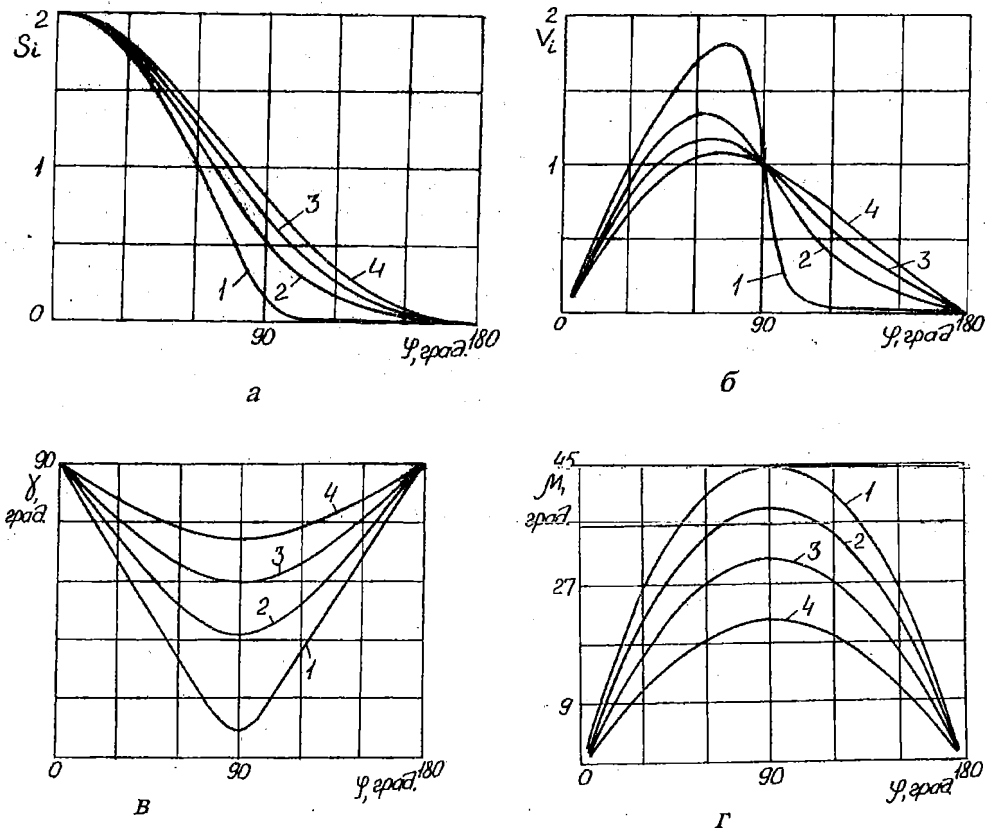


Рис. 2. Залежності від кута повороту ножа:
а — інваріанта переміщення; б — інваріанта швидкості;
в — кута врізування; г — дійсного кута різання

Аналіз цих графіків показує, що із збільшенням кута повороту прорізувального ножа дійсний кут різання зростає, причому максимального значення набуває для $\varphi = 90^\circ$. Для $\lambda_3 = 0 - \mu_{\max} = 45^\circ$ (крива 1). Подальший рух ножа приводить до зменшення дійсного кута різання.

Проведені дослідження показали, що різальний документ з відносними геометричними параметрами $\lambda_1 = 2,5$ і $\lambda_3 = 1,5$ характеризується найбільшим значенням кута врізування та найменшим дійсного кута різання. Для цих значень відносних геометричних параметрів швидкість процесу різання в діапазоні $90^\circ < \varphi < 180^\circ$ найбільша.