
УДК 621.628+686.12.056

С. М. КОМАРОВ, Г. Г. ПЕТРІАШВІЛІ

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАПЕРУ НА ЗУСИЛЛЯ ВІБРОРІЗАННЯ

Експериментальні дослідження процесу віброрізання стоп паперу засвідчують значне зниження всіх складових зусиль різання, що дає змогу визначити основні фактори, які впливають на їх зменшення [5, 6]. Наша мета — спроба виявити причини зменшення вертикальної складової сили віброрізання та порівняти розрахункові значення з експериментальними.

Вивченню фізичної суті процесу різання стопи паперу присвячено ряд праць [1, 2, 4, 10]. Як показали дослідження, найбільших значень при різанні набуває вертикальна складова, яка головним чином залежить від кута заточки та траєкторії руху ножа. Достатню точність при визначенні вертикальної сили різання F_p дає залежність $F_p = K_0 \alpha_3^2$, де K_0 — узагальнений емпіричний коефіцієнт, що враховує гостроту та кут руху ножа, сорт і вологість паперу, висоту і силу притиску стопи та інші фактори процесу різання; α_3 — кут заточки; γ — показник степені. Зниження вертикальної сили різання при похилому русі ножа

пояснюється «трансформацією кута заточки» — зменшенням дійсного кута різання α_p [4]: $\text{tg } \alpha_p = \text{tg } \alpha_3 = \frac{V_y}{V}$, де V — швидкість подачі ножа; V_y — вертикальна складова швидкості V (рис. 1, а). При наданні ножу вібрації у горизонтальному напрямку відбувається подальше зменшення кута α_p , значення якого знаходимо зі співвідношень [7] (рис. 1, а)

$$\text{tg } \alpha_p = \frac{\text{tg } \alpha_3 \cdot V_y}{\sqrt{V_y^2 + V_{px}^2}}$$

де $V_{px} = V_x + V_b \cos \omega t$ — горизонтальна складова дійсної швидкості різання V_p ; V_x — горизонтальна складова швидкості подачі V ; V_b — амплітудне значення вібраційної швидкості; ω — частота коливань; t — біжучий час.

Підставляючи в емпіричну формулу для обчислення F_p значення дійсного кута різання, одержуємо

$$F_p = K_0 \left\{ \arctg \left[\frac{\text{tg } \alpha_3 \cdot V_y}{\sqrt{V_y^2 + (V_x + V_b \cos \omega t)^2}} \right] \right\} \quad (1)$$

Оскільки ніж здійснює зворотно-поступовий рух, що приводить до періодичної зміни кута α_p , розрахункова сила різання коливається від мінімального значення до максимального. При цьому максимальне миттєве значення $F_p(\alpha_p = \alpha_3)$ перевищує зусилля похилого різу і дорівнює силі різання при вертикальному русі ножа. Але, як свідчать осцилограми, максимальне зусилля віброрізання значно менше від сил, розрахованих за (1). Таким чином, пояснити зниження зусиль однією тільки трансформацією кута заточки не вдається. Безумовно, існує декілька причин.

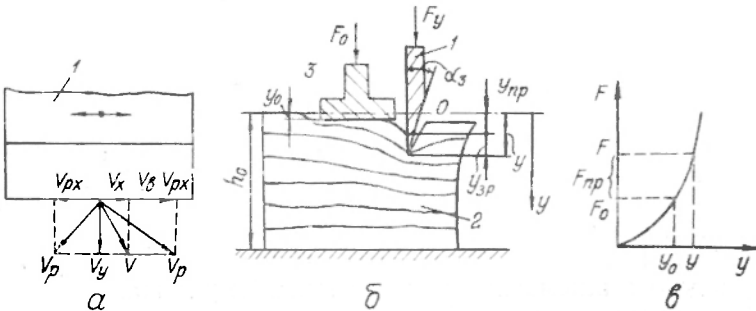


Рис. 1. Розрахункові схеми для визначення вертикального зусилля віброрізання:

а — вплив коливань на величину і напрямок швидкості різання V_p ; б — розрахункова модель процесу віброрізання; в — залежність пружної реакції стиснутої стопи від пружної деформації паперу; 1 — ніж; 2 — стопа; 3 — притиск.

Врахуємо вплив на силу різання пружних деформацій стиску стопи. Релаксацією паперу, силами тертя та в'язкого опору в першому наближенні нехтуємо. Збудження коливань вважаємо кінематичним, закон руху ножа — відомим, а жорсткість механізму привода приймаємо нескінченно великою.

Деформаційні властивості паперу при стиску досліджені у працях [3, 8, 9]. Достатньо високу точність розрахунку дає залежність $\sigma = E_0 \cdot \epsilon^\beta$, де σ і ϵ — відповідно напруження та відносна деформація стопи паперу; E_0 — умовний модуль пружності; β — показник нелінійності. Цю залежність можна перетворити до вигляду

$$F_{\text{пр}} = C_0 \left(\frac{y_{\text{пр}}}{h} \right)^\beta, \quad (2)$$

де $F_{\text{пр}}$ — сила пружності стиснутої стопи; $y_{\text{пр}}$ — пружна деформація паперу; h — висота стопи; C_0 — постійна, що залежить від властивостей паперу та площі зони контакту леза ножа зі стопою.

Розрахункова модель процесу віброрізання показана на рис. 1, б. Відлік починаємо від висоти нестиснутої стопи паперу h_0 , а деформацію стопи y_0 від сили притиску \bar{F}_0 знаходимо з виразу (2)

$$y_0 = h_0 \left(\frac{\bar{F}_0}{C_0} \right)^{1/\beta}.$$

При врізанні під впливом вертикальної сили на ножі F_y стопа набуває додаткової пружної деформації. У процесі різання висота стопи зменшується. Координата леза ножа в кожному мить часу складається з пружної деформації та висоти зрізу: $y = y_{\text{пр}} + y_{\text{зр}}$. Пружна деформація, в свою чергу, складається з двох компонентів: попереднього y_0 та додаткового стиску під дією зусилля F_y . Пружну реакцію стиснутої стопи $F_{\text{пр}}$ визначаємо за (2), враховуючи зменшення висоти стопи та значення попереднього стиску (рис. 1, в):

$$F_{\text{пр}} = C_0 \left(\frac{y_{\text{пр}}}{h_0 - y_{\text{зр}}} \right)^\beta - F_0.$$

Спочатку, коли $\bar{F}_{\text{пр}} < \bar{F}_p$, відбувається стиск стопи і $F_y = F_{\text{пр}}$. Як тільки сила пружності набуває значення, необхідного для розрізання F_p (1), починається різання стопи, при цьому $F_y = F_p$.

Складемо математичний опис процесу віброрізання. Незалежною змінною приймаємо біжучий час t . Значення $y(t)$, $V_x(t)$, $V_y(t)$ відомі з кінематики привода механізму ножа.

Перший етап — стиск ($F_{\text{пр}} < F_p$):

$$y = y(t),$$

$$V_x = V_x(t),$$

$$V_y = V_y(t),$$

$$F_r = K_0 \left\{ \arctg \left[\frac{\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot V_y}{\sqrt{V_y^2 + (V_x + V_B \cos \omega t)^2}} \right] \right\}^T, \quad (3)$$

$$y_{np} = y - y_{зр},$$

$$y_{зр} = \text{const},$$

$$F_{np} = C_0 \left(\frac{y - y_{зр}}{h_0 - y_{зр}} \right)^\beta - F_0.$$

З початку етапу (при $t=0$) $y=y_0$, $y_{зр}=0$, $F_{np}=0$. Протягом усього етапу стиску значення y_{np} і F_{np} збільшуються. Умова закінчення першого етапу $F_{np}=F_p$. Час закінчення етапу визначається розв'язанням трансцендентного рівняння

$$C_0 \left[\frac{y(t_1) - y_{зр}}{h_0 - y_{зр}} \right]^\beta - F_0 - K_0 \left\{ \arctg \times \right.$$

$$\left. \times \left[\frac{\operatorname{tg} \alpha_3 V_y(t_1)}{\sqrt{V_y^2(t_1) + (V_x(t_1) + V_B \cos \omega t_1)^2}} \right] \right\}^T = 0. \quad (4)$$

Другий етап — різання ($F_{np}=F_p$):

$$y = y(t),$$

$$V_x = V_x(t),$$

$$V_y = V_y(t),$$

$$F_p = K_0 \left\{ \arctg \left[\frac{\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot V_y}{\sqrt{V_y^2 + (V_x + V_B \cos \omega t)^2}} \right] \right\}^T, \quad (5)$$

$$y_{np} = y - y_{зр},$$

$$y_{зр} = \left[y - h_0 \left(\frac{F_p + F_0}{C_0} \right)^{1/\beta} \right] / \left[1 - \left(\frac{F_p + F_0}{C_0} \right)^{1/\beta} \right].$$

Під час другого етапу внаслідок коливань F_p стопа під ножем стискається і розпрямляється. При наближенні F_p до максимуму можливий такий випадок, коли різання припиниться, а стопа продовжує стискатися. Це відбувається за умови, що швидкість пружної деформації дорівнює вертикальній швидкості ножа $V_u = \frac{d y_{np}}{dt}$, тобто $\frac{d y_{зр}}{dt} = 0$. Час закінчення другого етапу t_2 знаходимо при аналізі на максимум функції

$$\left[y(t_2) - h_0 \left(\frac{F_p + F_0}{C_0} \right)^{1/\beta} \right] / \left[1 - \left(\frac{F_p + F_0}{C_0} \right)^{1/\beta} \right] = \max. \quad (6)$$

По закінченні другого етапу знову починається перший — стиск без різання. Далі, коли діюча на ніж сила пружності зрівнюється зі силою різання, розпочинається знову другий етап і т. д. Таким чином, процес віборізання характеризується послідовною зміною етапів: стиск—різання.

За наведеними залежностями складено програму розрахунку процесу віброрізання для ЕОМ. Програма визначає етап, його тривалість і залежно від цього обчислює параметри процесу віброрізання за формулами (3)—(6). Рівняння (4) і (6) розв'язуємо методом половинного поділу. На рис. 2 показано один з результатів розрахунку з урахуванням кінематики привода віброножа експериментальної установки при таких даних: $L=1 \cdot 10^{-2}$ м; $\alpha_3=18^\circ$; $\gamma=0,3$; $\beta=2,5$; $E_0=590$ МПа; $F_0=$

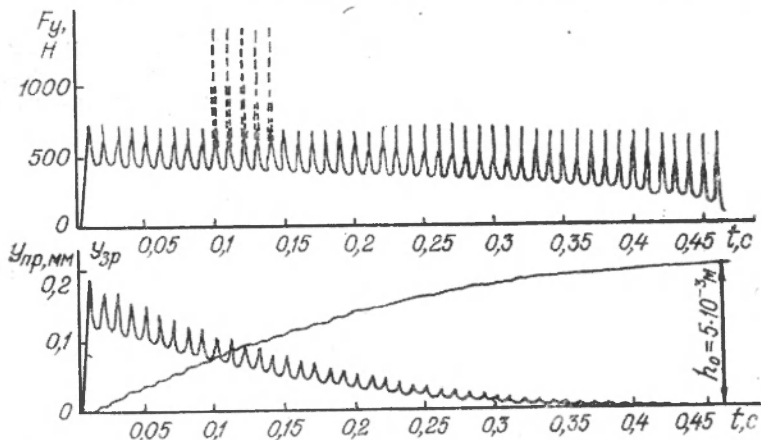


Рис. 2. Типові графіки зміни зусилля різання F_y , пружних деформацій $U_{пр}$ і величини зрізу $U_{зр}$ у процесі віброрізання.

(Значення F_y розраховані з урахуванням: зміни тільки кута різання (штрихова лінія), впливу пружних деформацій стопи (суцільна лінія).

$=800$ Н; $h_0=5 \cdot 10^{-3}$ м; $V_v=0,95$ м/с; $\omega=2\pi f$, де $f=50$ Гц. Як бачимо, зміна вертикального зусилля віброрізання має імпульсний характер, а амплітуда значень $U_{пр}$ і $U_{зр}$ зменшується до кінця різання. Ніж зрізає стопу невеличкими порціями, при цьому максимальні значення F_y зменшуються за рахунок пружних властивостей стопи (рис. 2). Осцилограми засвідчують добре узгодження розрахункових і експериментальних значень [6].

Таким чином, одним з важливих факторів, що впливають на зниження зусиль віброрізання, є пружні властивості стопи паперу, які необхідно брати до уваги під час розрахунку механізмів віброножів паперорізальних машин.

1. Акатьев Д. Ф. Исследование процесса резания стоп бумаги колеблющимся ножом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1968.
2. Гинзбург В. З. Исследование процесса резания на одноножевых бумагорезальных машинах // Сб. тр. НИИполиграфмаша, 1957. № 3. С. 174—212.
3. Косинов Ю. В., Чехман Я. I. Про деформаційні властивості матеріалів декелів // Поліграфія і видавнича справа, 1970. № 6. С. 110—116.
4. Мордовин Б. М. Конструкция и расчет полиграфических машин. М., 1951.
5. Полодов О. М., Петриашвили Г. Г., Черненко А. Д. Технологічні можливості та перспективи використання віброрізання у поліграфії // Поліграфія і видавнича справа, 1985. № 21. С. 48—51.
6. Петриашвили Г. Г. Влияние параметров колебаний виброножа на снижение усилий резания бумаги // Тез. докл. VIII всесоюз. науч.-техн. конф. по специальным видам печати. К., 1985. С. 75—76.
7. Пет-

риашвили Г. Г. Исследование и оптимизация кинематических параметров процесса виброрезания стоп бумаги. Львов, 1986. Рукопись деп. в ЦНИИТЭИ легпишемаш, № 703-МЛ. 8. *Петров В. Н.* Исследование технологического процесса и определение параметров оборудования при обжиге книжных блоков: Автореф. дис ... канд. техн. наук. М., 1950. 9. *Чехман Я. И.* Определение физических характеристик упругопластических материалов при сжатии // Науч. зап. УПИ. 1958. Т. 12. С. 209—217. 10. *Rösner W., Schulz W.* Zu Fragen des Schneidens von Materialien der buchbinderischen Weiterverarbeitung. I—IV // Papier und Druck. Bd. 24. № 1. 1975. S. 9—11; 1975. Bd. 24. N 2. S. 27—29; 1976. Bd. 25. № 3. S. 45—48; 1976. Bd. 25. № 4. S. 57—60.

Стаття надійшла до редколегії 05.04.86
