

УДК 686.12.056(62-26)

А.Б. Коломієць

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО РІЗАННЯ

Запропоноване на кафедрі поліграфічних машин УАД безвистійне вібраційне різання книжкових блоків [1] здійснюється за рахунок двох рухів: поступового (блока з лінійною швидкістю V_0) та плоскопаралельного обертового (ножа по радіусу R з частотою n). При різанні обраним способом в значній мірі трансформуються кінематичні параметри процесу.

Необхідність проведення кінематичного аналізу параметрів процесу ставить завдання попереднього визначення траєкторії взаємного руху блока і ножа в площині різання. Для побудови траєкторії скористаємось відомим методом інверсії. Аналіз проводимо для однієї з точок леза ножа як для зустрічного (ЗР), так і для попутного (ПР) різання.

При графічній побудові траєкторії взаємного руху блока і ножа до кожного з положень точки ножа додається від'ємне поточне переміщення блока. В результаті отри-

муємо положення, які складають загалом слід точки леза ножа (СТЛ) на поверхні блока в площині різання.

СТЛ являє собою криву з сімейства циклоїд — трохоїду. В залежності від співвідношення переміщень і швидкостей блока та леза ножа в напрямку, перпендикулярному до останнього, маємо видовжену або вкорочену циклоїду. Вигляд циклоїд для ПР і ЗР є ідентичним, та вони дзеркально відображені одна відносно одної.

Для проведення розрахунків кінематики процесу різання скористаємось схемою, що на рис.1. За точку відліку беремо в площині різання точку O_1 , яка збігається з точкою O' леза ножа при його максимальному врізуванні в тіло блока протягом циклу T . Точка O_1 є точкою відліку обраної системи координат, котра складається з осей: уздовж леза ножа ($O_1\tau$) та перпендикулярної до нього (O_1n).

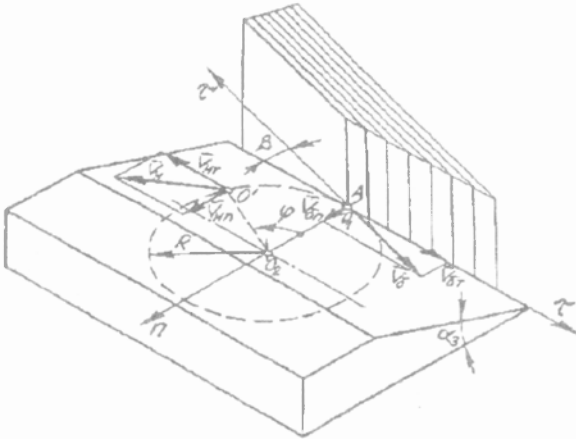


Рис. 1. Схема до розрахунку кінематичних параметрів процесу різання.

Вважаємо, що точка леза O' протягом циклу обертається навколо центра в точці O_2 ($O'O_2=R$). На початку циклу (при $O'=O_1$) точка A блока збігається з точкою O_1 , а проекція його крайнього до ножа аркуша на площину різання ($A\tau'$) утворює кут β з віссю $O_1\tau$.

Аналіз СТЛ показує, що процес різання відбувається при таких умовах:

$$S_{6n} > S_{Hn} \text{ та } V_{6n} > V_{Hn}, \quad (1)$$

де S_{6n} , S_{Hn} — поточні переміщення вздовж осі O_1n , відповідно, точок блока та ножа; V_{6n} , V_{Hn} — миттєві значення лінійних швидкостей у цьому напрямку.

При подальших розрахунках користуємось такими залежностями. Переміщення точки леза ножа розкладаємо на проекції на осі координат (нормальну і дотичну):

$$S_{Hn} = R \cdot [1 - \cos(\omega t_i)]; \quad S_{HT} = \pm R \cdot \sin(\omega t_i), \quad (2)$$

де t_i — поточний момент часу; знак “плюс” відповідає випадкові ЗР, знак “мінус” — випадкові ПР.

Аналогічно робимо для точок блока:

$$S_{6n} = V_6 t_i \sin \beta; \quad S_{6t} = V_6 t_i \cos \beta. \quad (3)$$

Для складових швидкості ножа відповідно:

$$V_{Hn} = \frac{dS_{Hn}}{dt} = -R \cdot \omega \cdot \sin(\omega t_i); \quad V_{HT} = \frac{dS_{HT}}{dt} = \pm R \cdot \omega \cdot \cos(\omega t_i).$$

На основі залежностей (2) і (3) будемо графіки зміни нормальних переміщень ножа і блока протягом часу циклу T (рис.2, побудова виконана в безрозмірних величинах).

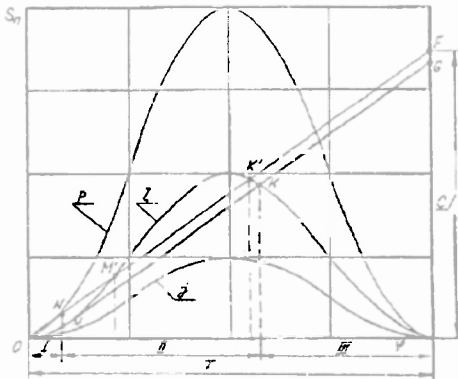


Рис. 2. Графіки зміни нормальних переміщень ножа і блока протягом циклу.

Криві j , l , p відповідають проекції переміщення точки леза ножа O' на вісь O_n , відповідно, для $R=0,5; 1; 4$. Пряма лінія OF відображає проекцію переміщення точки A блока на ту ж вісь. За повний період циклу T вона переміщується в цьому напрямку на відстань C , яка дорівнює ширині смуги паперу блока, що зрізається протягом одного циклу руху ножа і може бути визначена за залежністю

$$C = T \cdot V_{on} = \frac{2\pi}{\omega} \cdot V_o \cdot \sin \beta.$$

З аналізу графіка випливає, що для різних співвідношень швидкостей ножа і блока характер процесу суттєво відрізняється.

Крива j протягом всього циклу знаходиться нижче лінії OF . При заданих тут параметрах руху ніж не виходить з контакту з блоком, тобто процес різання має постійний характер.

Переміщення ножа S_{Hn} згідно з кривою l на відстані $M'K'$ (відтинок часу II) не задовольняє одну з умов наявності різання (1), протягом цієї частини циклу лезо ножа немає контакту з блоком. Під час різання протягом першої частини циклу відрізається смуга паперу шириною NM , оскільки різниця між S_{on} і S_{Hn} максимальна на цьому відрізку часу. В момент часу, що відповідає точці N , швидкості руху точок ножа V_{Hn} і блока V_{on} рівні. На відрізку NM' теж виконується одна з умов наявності різання ($S_{on} > S_{Hn}$). Проте тут $V_{Hn} > V_{on}$, тобто фактично має місце вихід леза ножа з контакту з незрізаною частиною блока. Точка M відповідає перетину кривої l та прямої GM . Ця пряма відображає переміщення S_{on} наступної крайньої до леза ножа незрізаної точки блока. Тому GM паралельна прямій OF переміщення зрізаної точки блока A . Таким чином, пряма OF трансформується у ламану $ONMF$. Для відрізка ламаної GM умови (1) виконуються, починаючи з точки зустрічі леза ножа з незрізаною частиною блока K . Вона дещо зміщена в часі відносно точки K' . Протягом останньої частини періоду III різання відбувається безперервно.

Знаходимо проекції сумарної швидкості різання на осі прийнятої системи координат:

$$V_{pn} = V_{Hn} + V_{\delta n} = V_6 \frac{\varphi}{\omega} \sin \beta - R \cdot \omega \cdot \sin \varphi; \quad (4)$$

$$\bar{V}_{pT} = \bar{V}_{HT} + \bar{V}_{Hn} = V_6 \frac{\varphi}{\omega} \cos \beta \pm R \cdot \omega \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

де φ — поточний кут повороту точки ножа навколо центра її обертання.

Звідси визначаємо сумарну миттєву лінійну швидкість переміщення блока відносно умовно-нерухомого ножа:

$$V_p = \sqrt{V_{pn}^2 + V_{pT}^2}, \quad (6)$$

або після підстановок з формул (4) та (5):

$$V_p = \sqrt{\left(\frac{\varphi V_6}{\omega}\right)^2 + (R \cdot \omega)^2 - 2\varphi \cdot V_6 \cdot R \cdot \cos(\varphi \pm \beta)}. \quad (7)$$

Кут різання ножа α_p в поточний момент циклу лежить у тій самій площині, що й вектор швидкості різання V_p . Ця площина перпендикулярна до площини різання. Перетин цієї площиною леза ножа, яке має кут загострення α_3 , утворює кут різання α_p . Для його визначення користуємось допоміжним кутом γ між площиною перетину і крайкою леза ножа.

Відома з (2) формула для визначення кута різання:

$$\alpha_p = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \gamma). \quad (8)$$

Кут α_p знаходиться майже в прямій залежності від величини кута γ . Допоміжний кут γ для поточного моменту часу циклу різання може бути визначений через складові поточної швидкості різання на осі координат:

$$\gamma = \arctg(V_{pn} / V_{pT}). \quad (9)$$

Основною умовою мінімізації кутів різання є пошук таких сукупностей факторів (зокрема, частоти n та радіуса R обертання точок леза ножа, кутів його загострення α_3 та

встановлення β), при яких співвідношення швидкостей V_{pT} / V_{pn} протягом циклу було б по можливості більшим. Аналіз СТЛ показує, що в процесі дискретного різання найменші співвідношення V_{pT} / V_{pn} припадають на точки, де відбувається реверс швидкості V_{HT} і її значення близьке або дорівнює нулю, тобто при $\varphi = 3\pi/2$. Саме в цих точках слід очікувати пікові значення кутів α_p , близькі до α_3 .

З цих міркувань можна висунути вимогу обмежити пошук оптимальних сукупностей факторів при дискретному різанні: зустріч леза ножа з блоком протягом циклу повинна відбуватись при значеннях кутів обертання кривошипа ножа φ_m більших $3\pi/2$.

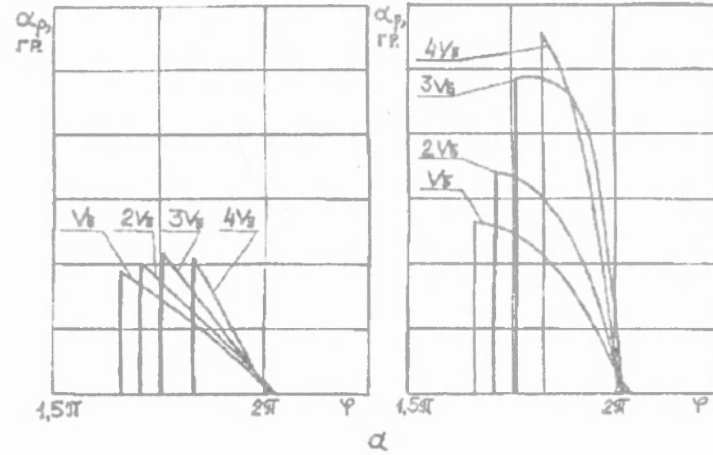
На основі наведених вище залежностей були проведені аналітичні дослідження кінематики процесу на ПЕОМ (для чого складено ряд програм QuickBASiCy), та в середовищі математичного табличного процесора Super Calc 5.

Як приклад результату роботи програм на рис. 3,а наведено графіки поточної зміни кута різання α_p за цикл для ЗР і ПР залежно від швидкості переміщення блока V_6 при постійних величинах інших факторів, на рис. 3,б — залежно від радіуса обертання точок ножа R . На графіках показано лише робочу частину циклу, коли $\alpha_p > 0$.

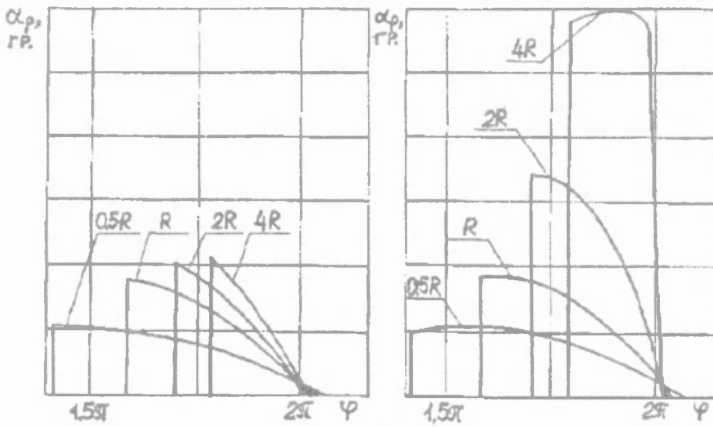
Точці зустрічі φ_m ножа з блоком майже на всіх графіках відповідає максимальне значення α_p за цикл. Протягом різання величина α_p поступово зменшується до нуля в точці виходу ножа з тіла блока φ_m , що пояснюється трансформацією кута γ .

Збільшення величини V_6 або зменшення R (тобто збільшення H_1) приводить до зростання часу робочої частини циклу. Одночасно графік залежності $\alpha_p = f(\varphi)$ набуває більш плавного вигляду за рахунок зменшення величини максимального α_p . Зміни величини факторів суттєво впливають на величину α_{pm} при ПР і в значно меншій мірі при ЗР.

При ЗР максимальні величини α_p значно менші, ніж при ПР. Це пояснюється більшою величиною складової швидкості різання V_{pT} . При $\varphi_m < 3\pi/2$ спостерігається відносно незначна перевага величин α_{pm} при ЗР.



а



б

Рис.3. Графіки зміни кута різання за цикл для ЗР і ПР залежно від швидкості переміщення блока (а) та радіуса обертання точок ножа (б).

Проведеними дослідженнями встановлено характер й особливості поточної величини параметрів процесу різання протягом циклу обертання точок леза ножа та визначено характер і ступінь впливу кожного з факторів (в попередньо обраних межах) на зміну параметра.

1. А.С. № 1729742 ССРСР. Способ безвыстойной обрезки книжных блоков / Полюдов А.Н., Жидецкий В. Ц. (СССР). 2 с. ил. опубликовано 30.04.92. Бюл. № 16. 2. Топольницкий П.В. Разработка безвыстойной обрезки книжных блоков специальным многолезвийным режущим инструментом: Дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1989.

Стаття надійшла до редколегії 24.01.97