УДК 686.12.056
Книш О.Б., к.т.н, доц.
Українська академія друкарства

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ КУТА ЗАГОСТРЕННЯ ДИСКОВОГО НОЖА ПРИ ОБРОБЦІ КОРІНЦЯ КНИЖКОВОГО БЛОКА ПЕРЕХРЕСНИМ СПОСОБОМ

Виведено залежності для визначення нормальної і дотичної складових швидкості різання та встановлено їх вплив на трансформацію кута загострення ножа. Досліджено характер трансформації кута загострення дискового ножа при обробці корінця книжкового блока. Встановлено, що при зустрічному русі ножа відносно напрямку переміщення книжкового блока кути різання менші ніж для попутного руху ножа. Досліджено вплив геометричних розмірів інструменту та технологічних параметрів процесу на зміну кута різання. Розроблено рекомендації щодо мінімізації кутів різання при обробці корінця.

Книжковий блок, корінець, трансформація, кут загострення, кут різання, дисковий ніж, швидкість різання.

Підготовка корінця книжкового блока до нанесення клею при незшивному клейовому скріпленні невід'ємний процес у технологічному ланцюжку виготовлення книжково-журнальної продукції, що скріплена за допомогою клею. Нова технологія обробки корінця [1] передбачає нанесення на корінець перехресних канавок дисковими ножами, що під кутом закріплені на планшайбі. За таких умов відбувається трансформація кута загострення ножа, що спричинюється зміною напрямку вектора швидкості різання.

Дослідженням кінематики різання книжково-журнальної продукції, зокрема трансформації кута загострення різального інструмента, присвячені ряд робіт [2, 3, 4]. Автор [2] наводить кінцеву формулу для визначення кута різання при обрізуванні книжкових блоків дисковим ножем із планетарним приводом, однак аналіз впливу технологічних параметрів на зміну кута загострення відсутній. У роботі [3] розглядається вплив технологічних параметрів на трансформацію кута загострення нерухомого ножа із заокругленою різальною крайкою. Дослідження зміни кута загострення плоского ножа при зрізуванні корінцевих фальців розглядаються у роботі [4]. Автори наводять методику розрахунку кута різання, однак аналіз стосовно конкретних технологічних параметрів відсутній.

За результатами аналізу розглянутих праць можна сформулювати висновок: наведені у публікаціях [2, 3, 4] результати досліджень трансформації кута загострення ножа стосуються технологічного процесу обрізування книжкових блоків, що має певні відмінності у порівнянні із розглядуваним способом [1], а робота [3] присвячена застосуванню нерухомого ножа для різання книжкових блоків.

З огляду на вищесказане *мета статті* полягає у дослідженні трансформації кута загострення дискового ножа при підготовці корінця книжкового блока до нанесення клею, впливу технологічних параметрів на дане явище, а також розроблення рекомендацій щодо мінімізації кута різання.

Для досліджень кінематичних параметрів формування програмованого рельєфу корінця скористаємось розрахунковою схемою зображеною на рис.1, згідно якої прийнято наступні позначення: R – радіус осі закріплення дискового ножа, r – радіус дискового ножа, r' – проекція радіуса дискового ножа на площину корінця, h – глибина канавки, H – відстань від осі закріплення дискового ножа до нижнього краю канавки, H_1 – відстань від осі закріплення ножа до корінця, r'_i та h_i – поточні значення проекції радіуса ножа на корінець і глибини канавки відповідно, $V_Б$ – швидкість переміщення книжкового блока, $V'_Б$ - проекція вектора швидкості блока на площину різання (площину дискового ножа), γ – кут нахилу дискового ножа відносно корінця, φ – поточний кут повороту планшайби з дисковим ножем.

Колова швидкість дискового ножа у довільній точці нанесення канавки буде різною і визначатиметься радіусом r'_i:

$$V_Н = \omega \cdot \left(R + r'_i\right)$$

Із геометричних залежностей знаходимо:

© Книш О.Б.

$$r_i' = \frac{h_i + H_1}{\mathrm{tg}\gamma}\ ,\ H_1 = H - h = r\cdot\sin\gamma - h\ ,\ r_i' = \frac{h_i + r\sin\gamma - h}{\mathrm{tg}\gamma}\ .$$

Після відповідних підстановок отримаємо кінцеву залежність для визначення лінійної швидкості ножа у довільній точці:

$$V_H = \omega\cdot\left(R + \frac{h_i + r\sin\gamma - h}{\mathrm{tg}\gamma}\right)$$

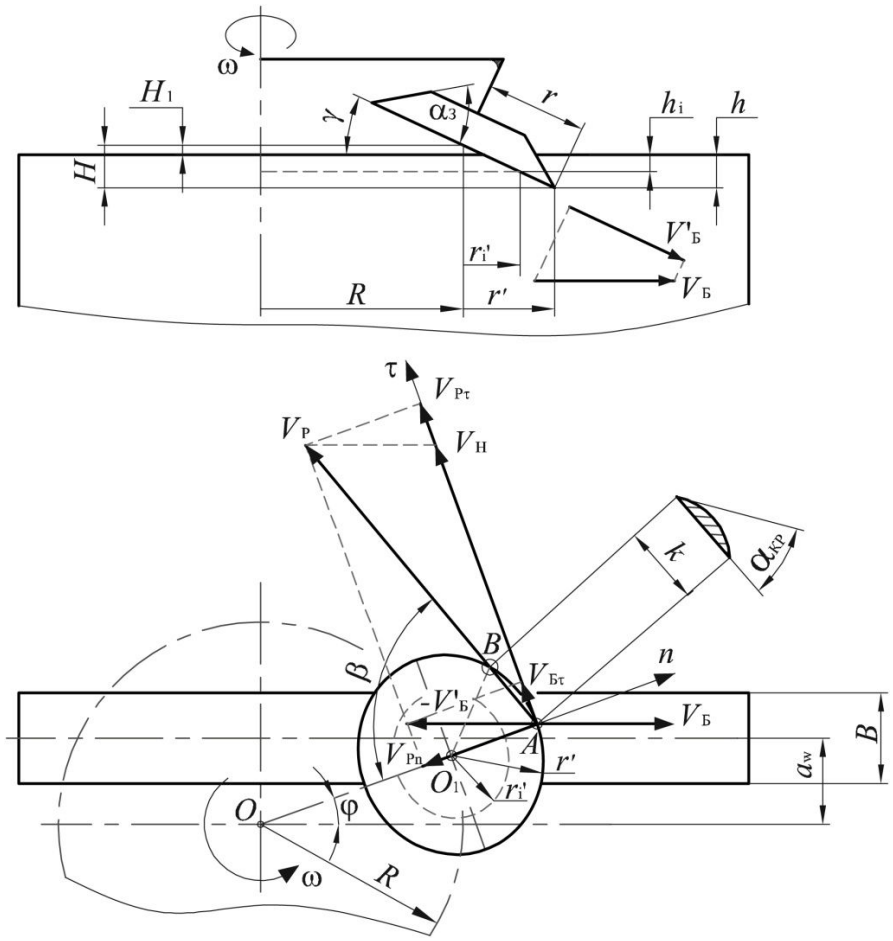

Рис. 1. Розрахункова схема до визначення швидкості різання

Швидкість $V_Р$ різання у т.А (див. рис. 1) представляємо як векторну суму швидкості ножа $V_Н$ та швидкості $V_Б$ блока, при цьому умовно приймаємо, що книжковий блок є нерухомим, а до швидкості ножа додаємо швидкість блока із протилежним знаком. Одночасно проектуємо вектор швидкості блока у площину різання, якою слугує основа конуса (дискового ножа) і у якій проводимо нормаль *On* та дотичну τ. Тоді нормальна $V'_{Бn}$ та дотична $V'_{Бτ}$ складові швидкості блока з урахування кута γ нахилу площини різання відносно корінця будуть рівними:

$$V'_{Бn} = V_Б\cdot\cos\gamma\cdot\cos\varphi\ ,\ V'_{Бτ} = V_Б\cdot\cos\gamma\cdot\sin\varphi\ .$$

Нормальна складова швидкості різання:

$$V_{Рn} = \pm V'_{Бn} = \pm V_Б\cdot\cos\gamma\cdot\cos\varphi\ , \qquad (1)$$

та дотична складова швидкості різання:

$$V_{Рτ} = V_Н \pm V'_{Бτ} = \omega\cdot\left(R + \frac{h_i + r\sin\gamma - h}{\mathrm{tg}\gamma}\right) \pm V_Б\cdot\cos\gamma\cdot\sin\varphi\ , \qquad (2)$$

тут знак «+» враховує зустрічний рух ножа (ЗРН) відносно напрямку руху книжкового блока; знак «−» - попутний рух ножа (ПРН).

Відповідно швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V_{\text{Р}} = \sqrt{V_{\text{Рn}}^2 + V_{\text{Рτ}}^2} = \sqrt{V_{Б}^2 \cos^2\gamma \cos^2\varphi + \left(\omega \cdot \left(R + \frac{h_{\text{і}} + r\sin\gamma - h}{\text{tg}\gamma}\right) \pm V_{\text{Б}} \cos\gamma \cos\varphi\right)^2} \quad (3)$$

Під час різання дисковий ніж буде проникати в товщу корінця під кутом β до нормалі, тобто у напрямку дії вектора швидкості $V_{\text{р}}$ різання, що спричинить трансформацію кута $\alpha_{\text{з}}$ загострення дискового ножа (див. рис.2). Трансформований кут загострення (надалі кут $\alpha_{\text{кр}}$ різання) утворюється дотичною до січної площини (для дискового ножа – гіперболою) у точці її перетину із площиною різання та вектором швидкості різання.

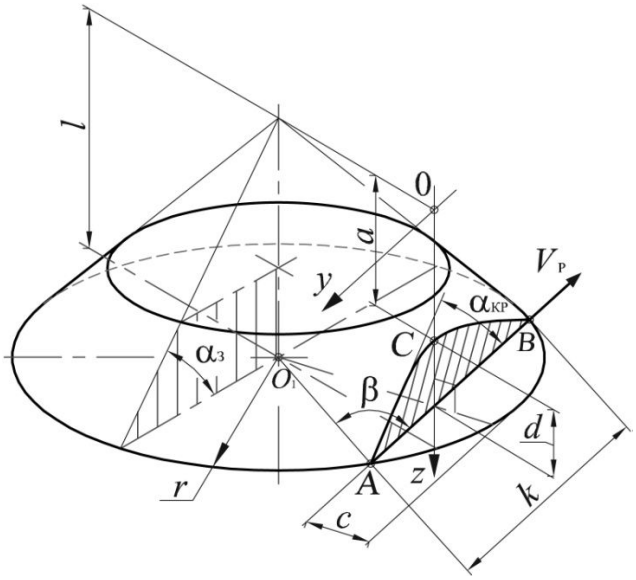

Рис. 2. Розрахункова схема до визначення трансформованого кута загострення дискового ножа

Рівняння гіперболи запишемо у вигляді:

$$\frac{z^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \Rightarrow y = \frac{b}{a}\sqrt{z^2 - a^2}\ , \quad (4)$$

де $a = l$ □ d – відстань між вершинами гіперболи та конуса; b – стала гіперболи.

$$\text{tg}(90 - \alpha_{\text{КР}}) = \frac{dy}{dz} = \frac{b}{a} \cdot \frac{z}{\sqrt{z^2 - a^2}} = \text{ctg}\alpha_{\text{КР}}$$

Величину b знаходимо із рівняння (4) гіперболи:

$$b^2 = \frac{a^2 y^2}{z^2 - a^2} \quad (5)$$

Після підстановки у (5) координат т.А (l, $\sqrt{2rc - c^2}$) та значення a отримаємо:

$$b = (l - d) \cdot \sqrt{\frac{2rc - c^2}{2ld - d^2}} \quad (6)$$

Тоді, з урахуванням (6) рівняння дотичної у т.А набуде виду:

$$y' = \frac{(l-d)\cdot\sqrt{\dfrac{2rc - c^2}{2ld - d^2}}}{(l-d)} \cdot \frac{l}{\sqrt{l^2 - (l-d)^2}} = \frac{l\sqrt{2rc - c^2}}{2ld - d^2} \quad (7)$$

© Книш О.Б.

де $l = r \cdot \mathrm{tg}\alpha_3$ - висота конуса (див. рис.2); $d = c \cdot \mathrm{tg}\alpha_3$ - висота гіперболи від вершини до площини перетину із основою конуса.

Після відповідних підстановок отримаємо

$$\mathrm{tg}\alpha_{\mathrm{KP}} = \frac{1}{y'} = \mathrm{tg}\alpha_3 \frac{\sqrt{2rc - c^2}}{r} \tag{8}$$

де $c = r - \sqrt{r^2 - 0{,}25k^2}$ - відстань від лінії перетину площини різання із січною площиною до краю основи конуса.

$$\mathrm{tg}\alpha_{\mathrm{KP}} = \mathrm{tg}\alpha_3 \frac{\sqrt{2r\left(r - \sqrt{r^2 - 0{,}25k^2}\right) - \left(r - \sqrt{r^2 - 0{,}25k^2}\right)^2}}{r} = \mathrm{tg}\alpha_3 \frac{0{,}5k}{r} \tag{9}$$

Довжину k лінії перетину площини різання із січною площиною знаходимо із рівностороннього ΔO_1AB (див. рис.1):

$$k = 2r \cdot \cos\beta = 2r \cdot \cos\left(\mathrm{arctg}\frac{V_{\mathrm{P}\tau}}{V_{\mathrm{Pn}}}\right) \tag{10}$$

Після підстановки (1), (2), (10) у (9) отримаємо кінцеву формулу для визначення кута різання при обробці корінця книжкового блока:

$$\alpha_{\mathrm{KP}} = \mathrm{arctg}\left(\mathrm{tg}\alpha_3 \cdot \cos\left(\mathrm{arctg}\frac{\omega \cdot \left(R + \frac{h_{\mathrm{i}} + r\sin\gamma - h}{\mathrm{tg}\gamma}\right) \pm V_{\mathrm{B}} \cdot \cos\gamma \cdot \sin\varphi}{\pm V_{\mathrm{B}} \cdot \cos\gamma \cdot \cos\varphi}\right)\right) \tag{11}$$

Дослідження кута різання за допомогою залежності (11) проведемо для наступних часткових параметрів: радіус планшайби R=90 мм, радіус дискового ножа r=30 мм, кут нахилу дискового ножа γ=30°, швидкість переміщення блока V_{B}=1,5 м/с, частота обертів планшайби n=600 об/хв., глибина канавки h=2 мм; товщина блока B=50 мм, міжосьова відстань a_w=50 мм.

На рис.3 зображено вплив глибини нанесення канавки на зміну кута різання. Аналіз даного графіку показує, що при зміні глибини канавки з 0 до 2 мм кут різання зменшується з 3,925° до 3,803° ($\Delta\alpha_{\mathrm{кр}}$=0,122°), що становить 3,1% від максимального значення. Така незначна різниця пояснюється малою глибиною канавок (до 2 мм) та мінімальним впливом радіуса дискового ножа при зміні кута його нахилу відносно корінця на радіус обертання т.А різання (див. рис.1). З урахуванням вище сказаного для подальшого аналізу кута різання припускаємо, що його значення є постійним по всій глибині нанесення канавки.

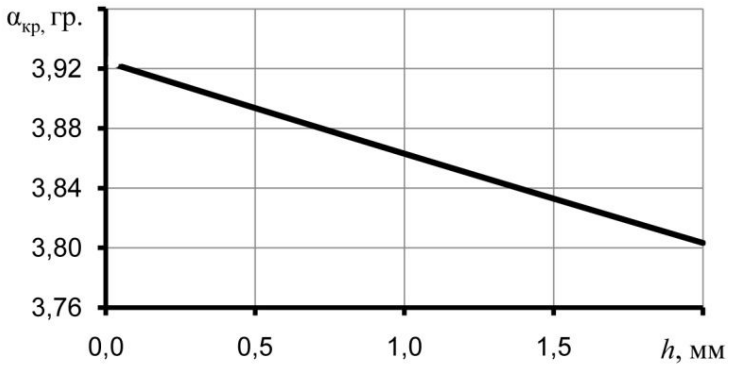

Рис.3. Зміна кута різання залежно від глибини канавки

На рис.4 зображено результати досліджень зміни кутів різання при нанесенні перехресних канавок для зустрічного руху ножа (суцільна лінія) та попутного руху ножа (пунктирна лінія). Як видно із отриманих графіків, при зустрічному русі ножа кути різання менші, ніж для

випадку попутного руху на 0,4°÷1,0° залежно від кута φ повороту дискового ножа. Це пояснюється тим, що дотична $V_{P\tau}$ складова швидкості різання при зустрічному русі є більшою, ніж при попутному, що сприяє кращому проковзуванню ножа по корінцю, а відтак зменшує кути різання. Відмічаємо, що для розглядуваного випадку із прийнятими частковими параметрами обробки корінця, при нанесенні канавок в одному напрямку (при φ=0°÷90° залежно від товщини *B* блока) спостерігається плавне зменшення кута $\alpha_{кр}$, причому для зустрічного руху зменшення кута різання є стрімкішим ніж для попутного руху. При нанесенні канавок у іншому напрямку (при φ=90°÷180°) характер зміни $\alpha_{кр}$ симетричний до попереднього, тобто спочатку кути різання є мінімальними з подальшим їх плавним зростанням, що пояснюється зміною напрямку вектора дотичної $V_{P\tau}$ складової швидкості різання з додатного на від'ємний. З огляду на останнє твердження для подальшого аналізу зміни кута різання будемо розглядати ділянку нанесення канавок лише в одному напрямку, тобто половину кінематичного циклу.

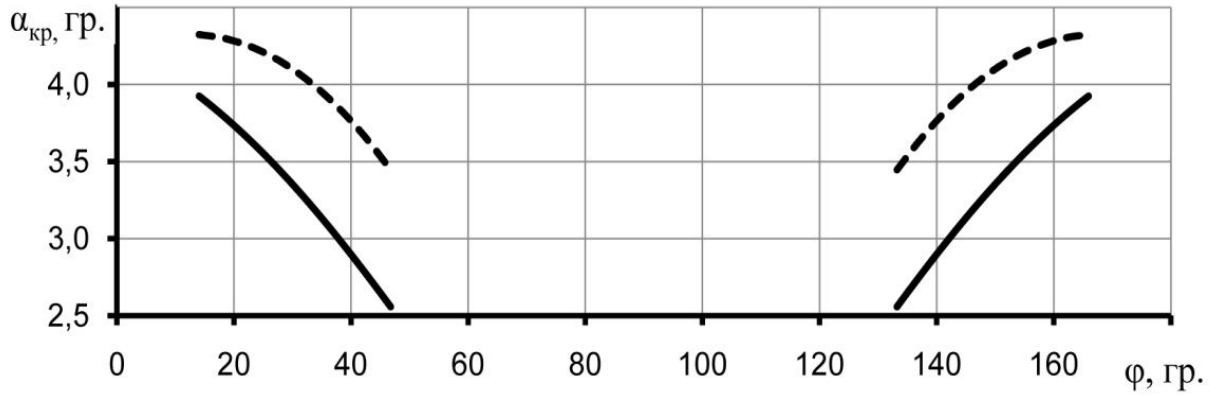

Рис. 4. Характер зміни кута різання під час періоду різання:
суцільна лінія – ЗРН; штрихова лінія - ПРН

На рис.5,а зображено залежність кута різання від частоти *n* обертів планшайби з дисковим ножем. Як видно із графіків, із збільшенням частоти обертання дискового ножа, кути різання зменшуються, причому при значеннях *n*=0÷550 об/хв. спостерігається стрімке їх зменшення, як для зустрічного руху (суцільна лінія), так і для попутного руху ножа (штрихова лінія). При значеннях *n*=550÷2000 об/хв. зменшення $\alpha_{кр}$ є несуттєвим (в межах 1,0°÷1,5°). Тому, з точки зору мінімізації кутів різання та потенційного зменшення шуму, що може спричинюватись великою частотою обертів планшайби з дисковими ножами, доцільно рекомендувати надання їм обертів *n*≈600÷1500 об/хв. виходячи із забезпечення необхідного кроку канавок [1].

На рис.5,б зображено трансформацію кута загострення при зміні радіуса *R* планшайби. Із графіків видно, що збільшення радіуса втричі з 50 мм до 150 мм спричинює зменшення кутів різання для попутного руху ножа (штрихова лінія) і для зустрічного (суцільна лінія) у 3,4 та 3,1 рази відповідно, що в абсолютному вимірі становить $\Delta\alpha_{кр} \approx 4{,}0°$.

На рис.5,в зображено результати трансформації кута загострення при зміні радіуса дискового ножа. Аналіз отриманих залежностей показує, що при збільшенні радіуса дискового ножа у 5-ть разів з *r*=5 мм до *r*= 25 спостерігається незначне зменшення кутів різання, яке становить $\Delta\alpha_{кр} \approx 0{,}7°$ не залежно від напрямку руху ножа (зустрічного чи попутного). Це дає підстави стверджувати, що вплив радіуса дискового ножа на зміну кутів різання є мінімальним, і ним можна знехтувати.

Результати досліджень впливу кута γ нахилу дискового ножа відносно корінця на трансформацію кута загострення зображені на рис.5,г. Як видно із отриманих графіків збільшення кута γ з 0° до 50° спричинює зменшення кута $\alpha_{кр}$ на ≈1,5°. Така тенденція пояснюється зменшенням нормальної складової V_{Pn} швидкості різання у 1,5 рази (з 1,45 м/с до 0,94 м/с), що є значно більшим ніж зменшення у 1,05 рази (з 6,59 м/с до 6,26 м/с) дотичної складової $V_{P\tau}$ швидкості різання, а відтак спричинить збільшення кута β ковзання і, як наслідок, зменшення кута $\alpha_{кр}$ різання.

© Книш О.Б.

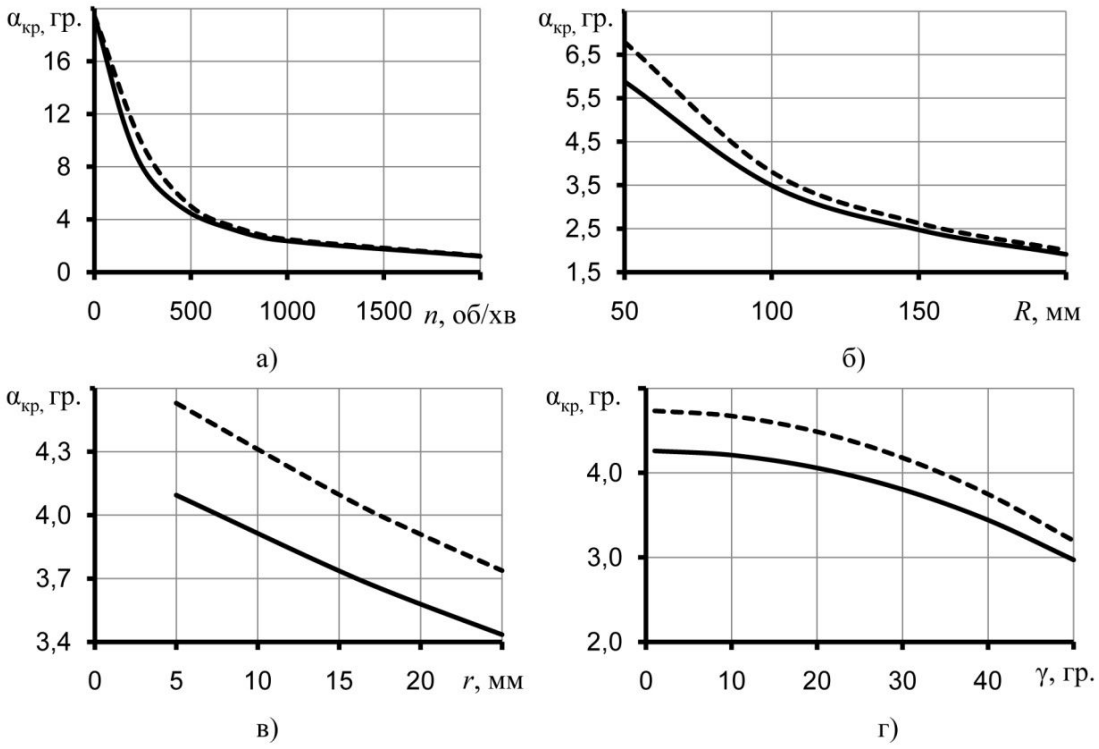

Рис. 5. Результати аналітичних досліджень впливу технологічних параметрів на зміну кутів різання: суцільна лінія – ЗРН; штрихова лінія - ПРН

Висновки:

- незначні, у порівнянні із кутом загострення, значення кута різання для перехресної обробки корінця дисковим ножем пояснюються наявністю ковзаючого різання, при якому дотична складова швидкості різання значно перевищує нормальну складову;
- зміна кута різання в залежності від глибини канавки є несуттєвою (3,0%), а тому нею можна знехтувати і для подальшого аналізу кута $\alpha_{кр}$ розглядаємо найбільш віддалену від осі обертання планшайби точку дискового ножа;
- значення кута різання для зустрічного руху ножа є меншим ніж при аналогічних умовах для попутного руху, що пояснюється більшою дотичною складовою швидкості різання у першому випадку, що забезпечує краще проковзування ножа по корінцю;
- з усіх досліджуваних параметрів найбільший вплив на зміну кута різання спричинюють частота обертання дискового ножа та радіус планшайби.

1. Книш О.Б. Технологія обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні // Технологічні комплекси. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ. – 2013. – №2 (8). – С.95-99.

2. Іванко А.І. Механіка процесу обрізування книжково-журнальних блоків дисковими ножами із планетарним приводом: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.01 / Нац. техн. ун-т України „Київ. політехн. ін-т”. – К., 2007. – 20 с.

3. Топольницький П.В. Обрізування книжкових блоків під час транспортування. Різальний інструмент: моногр. / П.В. Топольницький. – Львів: УАД, 2009. – 190 с.

4. Топольницький П.В. Нові технології та пристрої для різання поліграфічних матеріалів та книжково-журнальних блоків: Навч. посіб. / П.В. Топольницький, О.Б. Книш. – Львів: Афіша, 2003. – 83 с.