

## ПРОЦЕСИ

---

УДК 686.12.056

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЛЕЗОВОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА НА ДЕФОРМАЦІЮ БЛОКІВ, ЩО ВИНИКАЄ В ПРОЦЕСІ ОБРІЗУВАННЯ ПІД ЧАС ЇХ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗА КОЛОВОЮ ТРАЕКТОРІЄЮ

П.В. Топольницький, Ю.В. Ватуляк

Українська академія друкарства,  
Вул. Під Голоском 19, Львів, 79020, Україна

***Анотація.** Наведено результати теоретичних досліджень впливу конструкційних особливостей багатолезового різального інструмента на деформацію блока і, як наслідок, на силові показники процесу обрізування книжкових блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією.*

***Ключові слова:** книжково-журнальні блоки, багатолезовий різальний інструмент, кут встановлення, кут атаки, дійсний кут різання, глибина різання, довжина лінії різання, деформація, напруження, сила різання, папір.*

**Постановка проблеми.** Проведений аналіз існуючого устаткування для обрізування книжково-журнальних блоків (КЖБ) з трьох боків засвідчив суттєві труднощі при його залученні до складу високошвидкісних автоматизованих потокових ліній у першу чергу через порівняно малу технічну швидкість роботи, що зумовлюється зупинкою блоків під час обрізування тощо. Подальше вдосконалення цього устаткування з метою збільшення продуктивності можливе лише за умови докорінної зміни технологічного процесу, а саме здійснювати обрізування блоків під час транспортування (безвистійне обрізування).

Відомі способи безвистійного обрізування КЖБ та засоби для їх реалізації [7, 10, 11, 12] з різних причин (низька швидкість транспортування КЖБ, складність конструкції, наявність індивідуального привода тощо) не знайшли практичного застосування. З метою мінімізації цих недоліків запропоновано новий спосіб обрізування КЖБ під час їх руху за коловою траєкторією, із використанням багатолезового різального інструмента (БРІ) спеціальної конструкції [1, 2]. Запропонований спосіб обрізування КЖБ може успішно застосовуватись у існуючих потокових лініях для незшивного клейового скріплення під час переміщення напівфабрикатів. Ефективна реалізація способу безвистійного обрізування КЖБ під час його переміщення за коловою траєкторією вимагає вибору раціональної конструкції різального інструмента.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз спеціалізованих літературних джерел [1, 7, 9] показав, що систематизована інформація щодо зусиль, які виникають в процесі обрізування відсутня, а наявна носить орієнтовний характер. Результати досліджень явищ, що відбуваються під час обрізування багатолезовим різальним інструментом книжково-журнальних блоків під час

переміщення за коловою траєкторією висвітлено в публікаціях [2, 3, 4, 5, 6], у яких розглядається вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри, зусилля різання, затискування та якість обрізування книжкових блоків.

Мета статті – виявлення залежності напружень, що виникають в матеріалі КЖБ під час їхнього переміщення за коловою траєкторією від конструктивних розмірів різального інструмента.

Виклад основного матеріалу дослідження. В результаті проведення ряду експериментальних досліджень процесу обрізування [5, 6, 9] доведено, що внаслідок значної концентрації напружень у матеріалі КЖБ різання відбувається в зоні, прилеглої до вершини різальної крайки окремих лез БРІ. Одночасно на матеріал блока чинить тиск фаска (скошена грань лез БРІ, що утворює гострий кут із гранню, яка лежить у площині різання). Беручи до уваги наведене, дослідження процесу різання у зоні контакту різальної крайки окремих лез БРІ з матеріалом книжково-журнальних блоків є важливим, з огляду на силові та якісні показники процесу обрізування КЖБ.

В процесі різання матеріалу книжково-журнального блока на різальний інструмент діють сили, що виникають внаслідок стискування елементами робочої частини лез різального інструмента:  $F_p$  – сила спротиву матеріалу КЖБ руйнуванню,  $F_{ст}$  – сила стиснення матеріалу блока фаскою РІ,  $F_{л}$  – сила обтиснення матеріалом блока бокових граней різаного інструмента. Величина сил  $F_p$ ,  $F_{ст}$ ,  $F_{л}$  є добутком напружень, що виникають при врізанні леза в КЖБ, на площу контакту елементів робочої частини РІ з блоком.

Силові показники процесу обрізування книжкових блоків в значній мірі залежать від деформаційних характеристик паперу:  $E_y$  – умовного модуля пружності та показника степеня  $n$ . На основі реологічної моделі паперу встановлено вплив часу на взаємозв'язок деформації з напруженнями [8, 9]. Проте, коли дія зусиль відбувається за короткий проміжок часу, то з метою спрощення вирішення задачі вплив часу, як змінного параметра, можна умовно виключити. Тоді для паперу функціональна залежність має вигляд [9]:

$$\sigma = E_y \times \varepsilon^n \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – відносна деформація паперу.

Будучи анізотропним матеріалом папір має різні характеристики при стисненні залежно від напрямку розташування волокон відносно леза різального інструмента. Враховуючи незначну (0,1... 0,3 мм) віддаль лез БРІ від транспортного засобу КЖБ (кареток), де аркуші ущільнені силою затиску, з метою спрощення проведення розрахунків папір вважаємо однорідним матеріалом зі сталими характеристиками  $E_y$  і  $n$ .

Напруження руйнування  $\sigma_p$  матеріалу КЖБ є показником його фізико-механічних властивостей і визначаються експериментальним шляхом згідно методики [9]. В процесі обрізування КЖБ концентрація напружень  $\sigma_p$  спостеріга-

ється в зоні крайки леза БРІ (ділянки  $X_1, X_2$  рис. 1). При досягненні критичних значень напружень  $\sigma_p$  відбувається процес розділення матеріалу КЖБ під дією сили  $F_p$ , прикладеної до леза БРІ. Одночасно з напруженнями  $\sigma_p$  в матеріалі КЖБ виникають напруження  $\sigma_{ct}$  і  $\sigma_{обт}$  внаслідок деформування блока фасками лез БРІ (ділянка  $X_3$  рис. 1). Приймаючи до уваги те, що сили  $F_p, F_{ct}, F_l$  суттєво впливають на величину сумарної сили різання  $F_{\Sigma}$ , їх дослідження є важливим з огляду на силові та якісні показники процесу обрізування КЖБ.

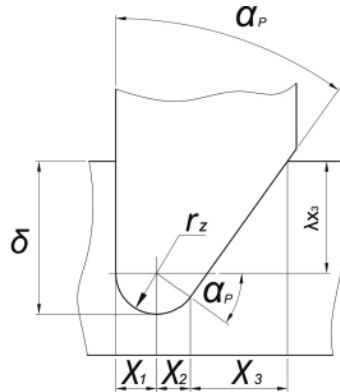


Рис. 1. Схема визначення відносної деформації стиснення матеріалу КЖБ

З метою визначення напружень стиснення матеріалу КЖБ  $\sigma_{ct}$  у вертикальному, та  $\sigma_{обт}$  у горизонтальному напрямку фаскою леза БРІ розглянемо дію напружень в площині перерізу обмеженого прямокутним трикутником DCA (рис. 2).

У трикутнику DCA відрізок AC =  $\delta$ , тобто дорівнює глибині різання окремим лезом БРІ КЖБ. Віддаль AB дорівнює довжині лінії контакту  $l_p$  леза і книжкового блока.

Довжина лінії контакту леза різального інструмента з блоком:

$$l_D = \frac{\delta}{\sin \beta}. \quad (2)$$

При  $\beta \rightarrow 0$ ,  $l_p$  дорівнює довжині різальної крайки леза. При  $\beta = 90^\circ$ ,  $l_p = \delta$ .

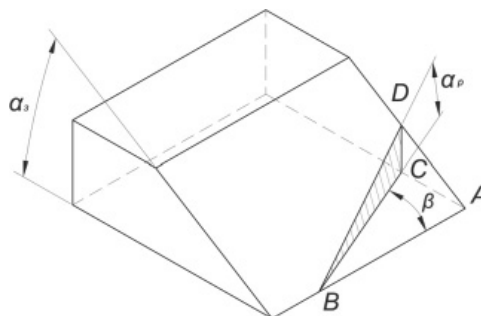


Рис. 2. Схема розташування площини дії напружень стосовно крайки леза

Відрізок DC – величина відгинання обрізаної частини блока:

$$DC = l_p \cdot \frac{tg \alpha_p}{\cos \beta} \quad (3)$$

де  $\alpha_p$  – кут різання,  $\beta$  – кут атаки (кут встановлення леза БРІ відносно напрямку руху блока).

Абсолютна деформація  $\lambda x_3$  на ділянці  $X_3$ :

$$\lambda x_3 = BC - r_z(1 + \sin \alpha_p). \quad (4)$$

Біжуче значення абсолютної деформації:

$$\lambda x_{3i} = \frac{X_{3i}}{tg \alpha_p}. \quad (5)$$

Відносна деформація стиснення матеріалу блока у вертикальному напрямку фаскою леза БРІ:

$$\varepsilon_{cm} = \frac{X_{3i}}{tg \alpha_p \cdot (BC - r_z(1 + \sin \alpha_p))}. \quad (6)$$

Напруження стиснення паперу у вертикальному напрямку фаскою леза,

$$\sigma_{cm} = E_y \cdot \left( \frac{1}{(BC - r_z(1 + \sin \alpha_p)) \cdot tg \alpha_p} \right)^n \cdot \int_0^{l_p \cdot \frac{tg \alpha_p}{\cos \beta}} X^n dX. \quad (7)$$

Відносна деформація стиснення матеріалу блока  $\varepsilon_{обт}$  у горизонтальному напрямку фаскою леза БРІ пов'язана із відносною деформацією у вертикальному напрямку  $\varepsilon_{ст}$  описується залежністю [9]:

$$\varepsilon_{обт} = \mu \cdot \frac{X_{3i}}{tg \alpha_p \cdot (BC - r_z(1 + \sin \alpha_p))}. \quad (8)$$

Напруження стиснення паперу у горизонтальному напрямку фаскою леза БРІ:

$$\sigma_{обт} = E_y \cdot \mu \cdot \left( \frac{1}{tg \alpha_p \cdot (BC - r_z(1 + \sin \alpha_p))} \right)^n \cdot \int_0^{l_p \cdot \frac{tg \alpha_p}{\cos \beta}} X^n dX. \quad (9)$$

Деформаційні характеристики матеріалу КЖБ, що підлягають обрізуванню  $E_y$  і  $n$ : крейдований для офсетного друку ( $E_y = 56,2$ ;  $n = 1,752$ ) та газетний ( $E_y = 38,6$ ;  $n = 1,475$ ). На основі отриманих аналітичних виразів (7) і (9) побудовано типові графіки залежностей напружень  $\sigma_{ст}$ ,  $\sigma_{обт}$  (рис. 3), що виникають в матеріалі КЖБ під час його обрізування окремим лезом БРІ від кута встановлення  $\beta$ .

Результати дослідження наведені стосовно сталої глибини різання окремих лезом  $\delta = 0,7$  мм, кута загострення леза  $\alpha_3 = 15^\circ$ , радіуса повороту КЖБ під час обрізування 750 мм [3, 4, 5, 6] радіуса заокруглення ріжучої крайки леза  $r_z = 0,003$  мм.

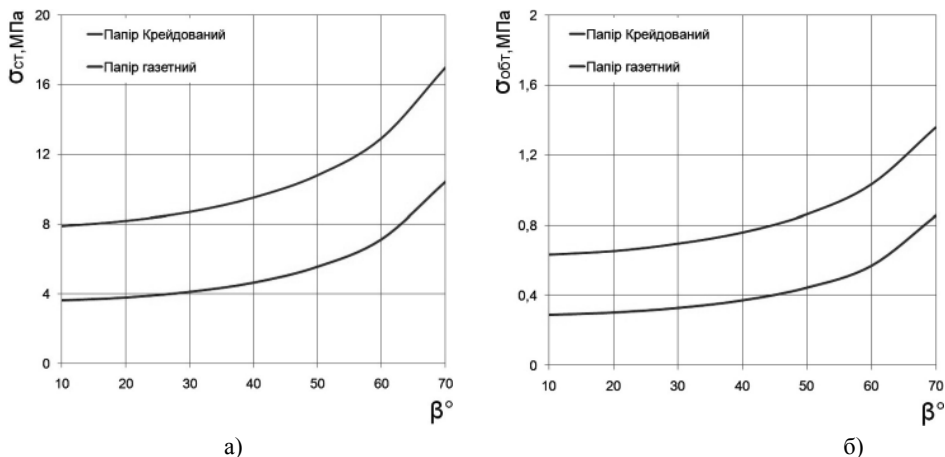


Рис. 3. Залежність напружень  $\sigma_{ст}$  і  $\sigma_{обт}$  від кута встановлення леза  $\beta$ : а) – крейдований для офсетного друку, б) – газетний

З графіків (рис. 3) видно, що при збільшенні величини кута атаки леза  $\beta$  від  $10^\circ$  до  $70^\circ$  напруження  $\sigma_{ст}$  і  $\sigma_{обт}$  зростають, що пояснюється збільшенням дійсного кута різання  $\alpha_p$ : для крейдованого – у два рази (від 8 до 17 МПа), для газетного – у 2,9 рази (від 3,6 до 10,5 МПа). Інтенсивне зростання напружень для газетного паперу пояснюється значною величиною його деформації при взаємодії з різальним інструментом (порівняно мала щільність матеріалу КЖБ). Для КЖБ, виготовлених як з крейдованого, так і з газетного паперів характерне різке зростання напружень  $\sigma_{ст}$  і  $\sigma_{обт}$  внаслідок взаємодії з лезом БРІ при збільшенні кута атаки  $\beta$  понад  $45^\circ$ , що пояснюється зростанням кута різання  $\alpha_p$ . За величиною напруження  $\sigma_{ст}$  на порядок більші за напруження  $\sigma_{обт}$  незалежно від виду паперу, з якого виготовляється. При збільшенні кута встановлення леза  $\beta$  від  $70^\circ$  до  $90^\circ$  величина напружень стиску  $\sigma_{ст}$  в матеріалі КЖБ досягає значень близьких до  $\sigma_p$  (19–27 МПа, в залежності від виду паперу). При цьому відбувається зминання паперу фаскою леза, значне зростання сил різання і, як наслідок – суттєве погіршення якості площини обрізу.

**Висновки.** Геометричні розміри різального інструмента (кут загострення, кут встановлення тощо) суттєво впливають на величину напружень в матеріалі КЖБ, а отже й на сили різання та якість площини обрізу. Результати проведеного теоретичного дослідження показали, що кут встановлення  $\beta$  леза БРІ з огляду на величину напружень, що виникають в матеріалі КЖБ в процесі його обрізування не повинен перевищувати  $45^\circ$ . З огляду на величину сили різання, та беручи до уваги деформаційні властивості паперів, оптимальний кут атаки лез багатолезового різального інструмента слід вибирати в межах

від 15° до 20°. Для щільних видів паперу (наприклад крейдований, масою  $m = 120 \text{ г/м}^2$ , густиною  $\rho = 1,30 \text{ г/см}^3$ ) оптимальним, з точки зору величини сили різання та якості обрізування, є кут встановлення лез БРІ  $\beta$  в межах 18° ... 20°. Для м'яких видів паперу, наприклад, газетний масою  $m = 50 \text{ г/м}^2$ , густиною  $\rho = 0,6 \text{ г/см}^3$  доцільним є кут встановлення лез БРІ  $\beta$  в межах 17° – 18°.

Оскільки напруження  $\sigma_{\text{ст}} > \sigma_{\text{обр}}$ , то величина вертикальної  $F_{\text{в}}$  та лобової  $F_{\text{л}}$  складових сили різання [5, 7] в значній мірі залежить від величини сили  $F_{\text{ст}}$ , що виникає внаслідок взаємодії матеріалу КЖБ з фаскою леза БРІ і діє у вертикальному напрямку. Дана залежність дозволяє пояснити суттєву різницю між величинами складових сили різання – ( $F_{\text{в}} > F_{\text{л}}$ ).

Результати проведених теоретичних досліджень створюють передумови для оптимізації геометричних розмірів багатолезового різального інструмента, технологічних параметрів процесу обрізування, що є важливим при розробленні як нового, так і при модернізації існуючого устаткування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полнодов О. М. Дослідження параметрів процесу безвистійного обрізування книжкових блоків у машинах карусельного типу, / О. М. Полнодов, П. В. Топольницький, Ю. В. Ватуляк // Наукові записки. Вип. 6 – Львів: УАД, 2003 – С. 3-7.
2. Топольницький П. В. Конструктивні особливості різального інструмента для обрізування книжкових блоків у машині карусельного типу / П. В. Топольницький, Ю. В. Ватуляк // Наукові записки. Вип. 7 – Львів: УАД, 2004 – С. 20-23.
3. Топольницький П. В. Вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри / П. В. Топольницький, Ю. В. Ватуляк // Комп'ютерні технології друкарства. Вип. 30 – Львів: УАД, 2013 – С. 187-190.
4. Ватуляк Ю. В. Визначення технологічно необхідного зусилля затискування книжкових блоків, що рухаються за коловою траєкторією під час їх обрізування / Ю. В. Ватуляк // Поліграфія і видавнича справа. Вип. 4 (68). – Львів: УАД, 2014 – С. 20-26.
5. Топольницький П. В. Експериментальні дослідження процесу обрізування книжкових блоків багатолезовим різальним інструментом у машині карусельного типу / П. В. Топольницький, Ю. В. Ватуляк // Наукові записки. Вип. 9 - Львів: УАД, 2006 – С. 44-49.
6. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Кути атаки леза, як важливий фактор якості та точності обрізування книжково-журнальних блоків // Комп'ютерні технології друкарства. / УАД. Л., 2016 № 36 (2).
7. Топольницький П. В., Книш О. Б. Нові технології та пристрої для різання поліграфічних матеріалів та книжково-журнальних блоків: навчальний посібник. / П. В. Топольницький, О. Б. Книш – Львів: Афіша, 2003. – 88 с.
8. Чехман Я.І. Друкарське устаткування: підруч. / Я.І. Чехман, В.Т. Сенкус, В.П. Дідич, В.О. Босак – Львів: УАД, 2005. – 468 с.
9. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов/ Н.Е. Резник.– М.: «Машиностроение», 1975. – 311с.
10. FERAG AG, Conveying and bprocessing systems CH-8340 Hinwil/Zurich.
11. Europäische Patentanmeldung B26D 9/00. EP 1 491 303 A1 / Kolbus GmbH & Co. KG.
12. Europäische Patentanmeldung B26D 1/20 EP 1 273 401 A1 / Grapha-Holding AG.

**REFERENCES**

1. Polyudov O. M. (2003). Doslidzhennya parametriv protsesu bezvystiynoho obrizuvannya knyzhkovykh blokiv u mashynakh karusel'noho typu, / O. M. Polyudov, P. V. Topol'nyts'kyy, Yu. V. Vatulyak // Naukovi zapysky. Vyp. 6 – L'viv: UAD. – S. 3-7. (in Ukrainian)
2. Topol'nyts'kyy P. V. (2004). Konstruktyvni osoblyvosti rizal'noho instrumenta dlya obrizuvannya knyzhkovykh blokiv u mashyni karusel'noho typu / P. V. Topol'nyts'kyy, Yu. V. Vatulyak // Naukovi zapysky. Vyp. 7 – L'viv: UAD.– S. 20-23. (in Ukrainian)
3. Topol'nyts'kyy P. V. (2013). Vplyv vzayemnoho roztashuvannya lez bahatolezovoho rizal'noho instrumenta na yoho rozmiry / P. V. Topol'nyts'kyy, Yu. V. Vatulyak // Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva. Vyp. 30–L'viv: UAD. –S. 187-190. (in Ukrainian)
4. Vatulyak Yu. V. (2014). Vyznachennya tekhnolohichno neobkhidnoho zusyllya zatyskuvannya knyzhkovykh blokiv, shcho rukhayut'sya za kolovoyu trayektoriyeyu pid chas yikh obrizuvannya / Yu. V. Vatulyak // Polihrafiya i vydavnycha sprava. Vyp. 4 (68). – L'viv: UAD. – S. 20-26. (in Ukrainian)
5. Topol'nyts'kyy P. V. (2006). Eksperymental'ni doslidzhennya protsesu obrizuvannya knyzhkovykh blokiv bahatolezovym rizal'nym instrumentom u mashyni karusel'noho typu / P. V. Topol'nyts'kyy, Yu. V. Vatulyak // Naukovi zapysky. Vyp. 9 - L'viv: UAD. – S. 44-49. (in Ukrainian)
6. Topol'nyts'kyy P.V., Vatulyak Yu.V. (2016). Kuty ataky leza, yak vazhlyvyi faktor yakosti ta tochnosti obrizuvannya knyzhkovo-zhurnal'nykh blokiv // Komp'yuterni tekhnolohiyi drukarstva. / UAD. L., # 36 (2). (in Ukrainian)
7. Topol'nyts'kyy P. V., Knysh O. B. (2003). Novi tekhnolohiyi ta prystroyi dlya rizannya polihrafichnykh materialiv ta knyzhkovo-zhurnal'nykh blokiv: navchal'nyy posibnyk. / P. V. Topol'nyts'kyy, O. B. Knysh – L'viv: Afisha. – 88 s. (in Ukrainian)
8. Chekhman Ya.I. (2005). Drukars'ke ustatkuvannya: pidruch. / Ya.I. Chekhman, V.T. Senkus', V.P. Didych, V.O. Bosak – L'viv: UAD– 468 s. (in Ukrainian)
9. Reznik N.E. (1975). Teorija rezanija lezviem i osnovy rascheta rezhushhih apparatov/ N.E. Reznik.– M.: «Mashinostroenie»– 311s. (in Russian)
10. FERAG AG, Conveying and bprocessing systems CH-8340 Hinwil/Zurich. (in English)
11. Europäische Patentanmeldung B26D 9/00. EP 1 491 303 A1 / Kolbus GmbH & Co. KG. (in German)
12. Europäische Patentanmeldung B26D 1/20 EP 1 273 401 A1 / Grapha-Holding AG. (in German)

UDC 686.12.056

**THEORETICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF MULTI-BLADE  
CUTTING TOOL CONSTRUCTION ON BLOCK DEFORMATION IN  
TRIMMING PROCESS WHEN MOVING IN CIRCULAR TRAJECTORY**

P.V. Topolnytskiy, Yu.V. Vatuliak

*Ukrainian Academy of Printing  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
e-mail: topolnitsky@gmail.com*

*The results of theoretical studies of the influence of structural features of the multi-blade cutting tool on the block deformation and, as a consequence, on power indicators of the process of the book block trimming during its movement in a circular trajectory have been presented.*

**Keywords:** *book-journal blocks, multi-blade cutting tool, mounting angle, angle of attack, actual cutting angle, cutting depth, cutting line length, deformation, stress, cutting force, paper.*

*Стаття надійшла до редакції 14.02.2017*

*Received 14.02.2017*