

УДК 686.12.056

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ ПІД ЧАС ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗА КОЛОВОЮ ТРАЄКТОРІЄЮ

П.В. Топольницький, Ю.В. Ватуляк

Українська академія друкарства, Вул. Підголосько, 19, Львів, 79020, Україна

Наведено результати теоретичних досліджень впливу геометричних розмірів багатолезового різального інструмента та фізико-механічних властивостей паперу 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. Зростання вимог до зниження енерго- та метало-місткості устаткування є важливим чинником пошуку нових підходів до вирішення задач, що постають перед розробниками поліграфічного устаткування.

У сучасних потокових лініях з виготовлення книжково-журнальної продукції операція обрізування переда блока (англійська брошура) виконується на спеціальному устаткуванні (наприклад модуль «EasyFly» для обрізування переду книжкових блоків) яке залучається у високопродуктивну потокову лінію, що призводить до зростання вартості потокової лінії, збільшення виробничих площ, кількості обслуговуючого персоналу, енергоємності устаткування і, як наслідок собівартості виробу.

З метою уникнення цих недоліків запропоновано новий спосіб обрізування переда блока під час виготовлення англійської брошури. Суть способу описано в [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. 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], у яких розглядається вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри, зусилля затискування та якість обрізування книжкових блоків.

Мета статті – дослідити вплив геометричних розмірів багатолезового різального інструмента та фізико-механічних властивостей паперу на силові показники процесу обрізування книжкових блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією.

Виклад основного матеріалу дослідження. Взаємодія окремого леза багатолезового різального інструмента з книжковим блоком – складний технологічний процес. Як показали проведені теоретичні та експериментальні дослідження основними геометричними параметрами багатолезового різального

інструмента [7], що впливають на величину сили різання є кут атаки β (гострий кут між ріжучою крайкою леза і вектором швидкості переміщення книжкового блока під час обрізування), кут загострення α_3 леза, глибина δ різання окремим лезом. Вектор швидкості різання (різальний інструмент нерухомий) рівний вектору швидкості переміщення книжкового блока.

На рис. 1 представлено схему визначення кута атаки β леза багатолезового різального інструмента під час обрізування книжкового блока, що рухається за коловою траєкторією.

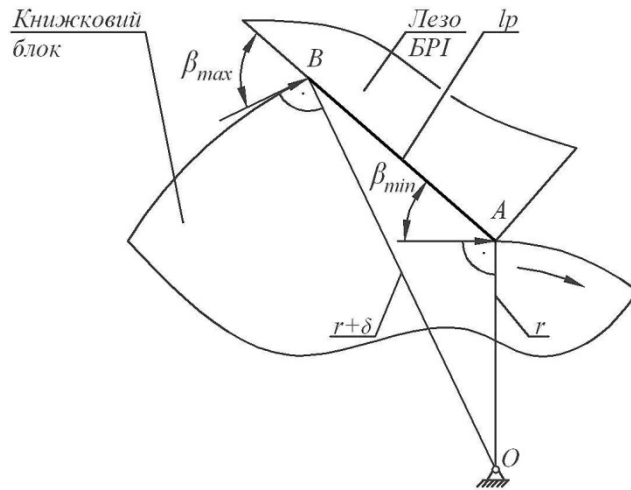


Рис.1 Схема визначення кута атаки леза БРІ

У трикутнику $\triangle OAB$ (рис. 1) співвідношення сторін і кутів:

$$\frac{r}{\sin \angle OBA} = \frac{r + \delta}{\sin(90^\circ + \beta_{\min})}, \quad \text{або} \quad \frac{r}{\sin \angle OBA} = \frac{r + \delta}{\cos \beta_{\min}},$$

де r – віддаль вершини леза від центра повороту книжкового блока;
 δ – глибина різання;

$\beta_{\min} = \beta_e$ – кут встановлення леза БРІ (кут між вектором швидкості переміщення книжкового блока в точці А і різальною крайкою леза АВ).

Визначаємо кут $\angle OBA$

$$\sin \angle OBA = \frac{r \times \cos \beta_{\min}}{r + \delta}, \quad \angle OBA = \arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_{\min}}{r + \delta}\right),$$

Кут атаки в точці В: $\beta_{\max} = 180^\circ - 90^\circ - \angle OBA = 90^\circ - \angle OBA$

В процесі обрізування книжкового блока, що рухається за коловою траєкторією кут атаки β_{\max} протягом циклу обрізування блока є постійним і залежить від кута встановлення β_e леза БРІ, глибини різання δ , віддалі r вершини леза від центра колової траєкторії переміщення книжкового блока під час обрізування.

Отже, кут атаки леза БРІ під час обрізування книжкового блока, що рухається за коловою траєкторією дорівнює:

$$\beta_{\max} = \beta = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_e}{r + \delta}\right). \quad (1)$$

Дійсний кут різання знаходиться в січній площині, положення якої відносно леза БРІ визначається вектором швидкості книжкового блока.

За умови прямолінійного переміщення книжкового блока під час обрізування дійсний кут різання [6]:

$$\alpha_\delta = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \beta_e),$$

де α_3 – кут загострення леза.

Підставивши вираз кута атаки леза при коловій траєкторії переміщення книжкового блока під час обрізування формула для визначення дійсного кута різання набуде виду:

$$\alpha_\delta = \arctg\left(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_e}{r + \delta}\right)\right)\right). \quad (2)$$

Слід зазначити, що силові показники процесу обрізування книжкових блоків в значній мірі залежать від деформаційних характеристик паперу: E_y – умовного модуля пружності та показника степеня n . E_y і n є фізичними сталими, що визначаються експериментально для конкретного виду паперу. При аналізі реологічної моделі паперу було встановлено вплив часу на взаємозв'язок деформації з напруженнями. Проте, коли дія зусиль відбувається за короткий проміжок часу, то з метою спрощення вирішення задачі його вплив, як змінного параметра, можна умовно виключити. Тоді для паперу функціональна залежність має вид [7]:

$$\sigma = E_y \times \varepsilon^n,$$

де ε – відносна деформація паперу.

Будучи анізотропним матеріалом папір має різні характеристики при стисненні залежно від напрямку розташування волокон відносно леза різального інструмента. Враховуючи незначну (0,2... 0,8 мм) віддаль лез БРІ від транспортного засобу книжкових блоків (кареток), де аркуші ущільнені силою затиску, з метою спрощення проведення розрахунків папір вважаємо однорідним матеріалом зі сталими характеристиками E_y і n .

Розглянемо дію напружень стиснення паперу в площині перерізу обмеженого прямокутним трикутником DCA (рис.2) леза БРІ.

У трикутнику DCA відрізок AC = δ , тобто дорівнює глибині різання окремим лезом БРІ книжкового блока, що переміщується за коловою траєкторією і лежить на продовженні відрізка r – віддалі вершини А леза від центра повороту книжкового блока під час обрізування. Віддаль АВ дорівнює довжині лінії контакту lp леза і книжкового блока.

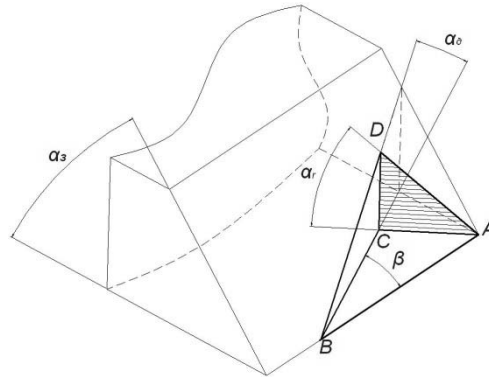


Рис. 2. Схема визначення сумарної сили різання окремих лезом багатолезового різального інструмента сумарної сили різання окремих лезом багатолезового різального інструмента

Довжина лінії різання: $l_p = \delta \div \sin \beta$. (3)

При $\beta_b = 0^\circ$ довжина лінії різання набуває максимального значення:

$$l_{p \max} = \sqrt{(\delta + r)^2 - r^2}. \quad (4)$$

Відрізок DC – величина відгинання обрізаної частини блока:

$$DC = l \times \cos \beta \times \operatorname{tg} \alpha_o. \quad (5)$$

Напруження стиснення паперу в січненні (трикутник ACD, рис. 3), що визначається координатою X :

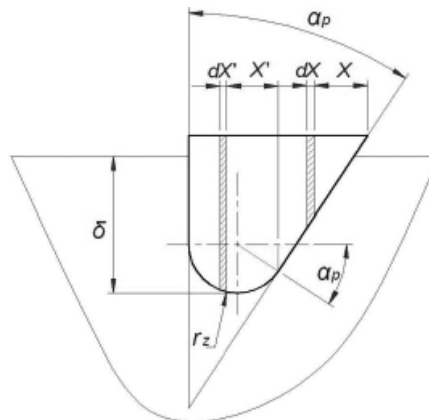


Рис. 3. Схема визначення напружень стиснення паперу

$$\sigma_x = E_y \cdot \left(\frac{X}{\delta \cdot \operatorname{tg} \alpha_s} \right)^n,$$

де $\frac{X}{\operatorname{tg} \alpha_s}$ – біжуче значення деформації стиснення паперу.

Кут тиску: $\alpha_p = \operatorname{arctg} \left(\frac{l \times \cos \beta \times \operatorname{tg} \alpha_o}{\delta} \right)$.

Напруження стиснення паперу в площині обмеженій трикутником ACD (рис.2), враховуючи заокруглену ділянку крайки при вершині лека:

$$\sigma_{\max} = E_y \times \left(\frac{1}{\delta \times \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^n \times \left(\int_{r_3 \times (1 + \cos \alpha_p)}^{DC} X^n dX + \int_0^{r_3 \times (1 + \cos \alpha_p)} \sqrt{r_3^2 + X^2} dX \right), \quad (6)$$

де lp – довжина лінії контакту книжкового блока з ріжучою крайкою лека (від-різок АВ рис. 1).

Із врахуванням розподілу напружень стиску вздовж лінії різання від 0 до σ_{\max} , сила різання одним лезом багатолезового різального інструмента без врахування сил тертя паперу по поверхні лека:

$$P_{\text{різ}} = l_p \times \int_{\sigma_0}^{\sigma_{\max}} \frac{X}{l_p \times \cos \beta_a \times \operatorname{tg} \alpha_d} dX. \quad (7)$$

При цьому слід враховувати, що при $\beta_B = 90^\circ$ сила різання:

$$P_{\text{різ}} = l_p \times \sigma_{\max}. \quad (8)$$

На основі отриманого аналітичного виразу побудовано графіки залежностей сили різання окремим лезом багатолезового різального інструмента від кута встановлення лека β_a , глибини різання δ , радіуса заокруглення ріжучої крайки лека r_3 для книжкових блоків виготовлених з трьох видів паперу, що мають найбільш виражені деформаційні характеристики (показники E_y і n): крейдований для офсетного друку, офсетний №1, та газетний.

Деформаційні характеристики паперів:

Крейдований для офсетного друку: $E_y = 56,2$; $n = 1,752$.

Газетний: $E_y = 38,6$; $n = 1,475$.

Офсетний №1: $E_y = 43,7$; $n = 1,434$.

На графіку рис. 4 представлено типову залежність сумарної сили різання від кута встановлення β_a лека. Результати теоретичних дослідження наведені стосовно лека із кутом загострення $\alpha_3 = 15^\circ$, віддаль вершини лека від центра повороту книжкового блока $r = 400$ мм. радіусом заокруглення ріжучої крайки лека $r_3 = 0,004$ мм.

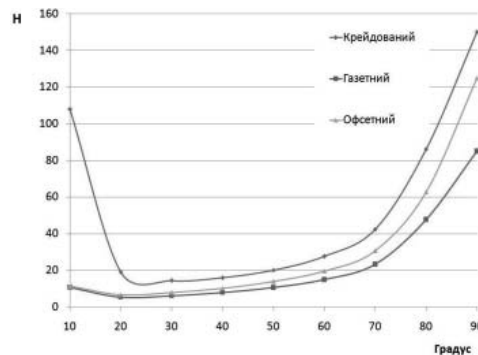


Рис. 4. Залежність сумарної сили різання від кута атаки

З графіка видно, що при збільшенні величини кута встановлення β_g від 10° до 20° сила різання зменшується для усіх трьох видів паперу. Для паперу «крейдований» сила різання зменшується від 100 Н до 14 Н, для паперу «газетний» від 11 Н до 5 Н, для паперу «Офсетний» від 12 Н до 6,5 Н. Зменшення величини сили різання при зміні кута встановлення від 10° до 20° обумовлене зменшенням в 3 рази довжини лінії різання lp (довжина відрізка АВ рис. 2).

При подальшому збільшенні величини кута встановлення β_g від 20° до 60° відбувається поступове зростання величини сили різання (до 28 Н – папір «крейдований», до 15 Н – «газетний», до 20 Н – «офсетний»). При подальшому збільшенні кута встановлення леза до $\beta_g = 90^\circ$ величина сили різання стрімко зростає. Даний факт можна пояснити незначним зменшенням довжини лінії різання рис. 5 (від 0,6 мм при $\beta_g = 60^\circ$ до 0,5 мм при $\beta_g = 90^\circ$) при збільшенні дійсного кута різання до $\alpha_d = \alpha_3$ (рис. 5).

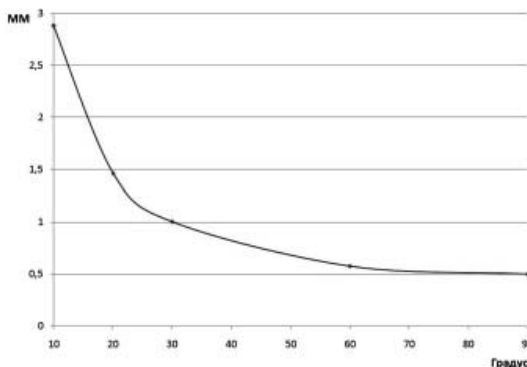


Рис. 5 Залежність довжини lp лінії різання від кута встановлення β_g леза

Отже, кут встановлення β_g леза впливає на довжину lp лінії різання та величину дійсного кута різання α_d , а відтак і на силу різання. З огляду на величину сили різання оптимальний кут встановлення β_g лез багатолезового різального інструмента слід вибирати в межах від 18° до 25° залежно від виду паперу, з якого виготовлено книжковий блок. Для щільних видів паперу (наприклад крейдований, масою $m = 120$ г/м², густиною $\rho = 1,30$ г/см³) оптимальним, з точки зору величини сили різання, є кут встановлення лез БРІ $\beta_g \approx 25^\circ$. Для більш пухких видів паперу, таких як газетний масою $m = 50$ г/м², густиною $\rho = 0,6$ г/см³ та офсетний № 1, масою $m = 75$ г/м², густиною $\rho = 0,74$ г/см³ оптимальним є кут встановлення лез БРІ $\beta_g 18^\circ - 20^\circ$.

На рис. 6 представлено графік залежності сумарної сили різання від глибини різання окремим лезом багатолезового різального інструмента, що має кут заострення $\alpha_3 = 15^\circ$, кут встановлення $\beta_g = 20^\circ$, радіус заокруглення ріжучої крайки леза $r_3 = 0,004$ мм.

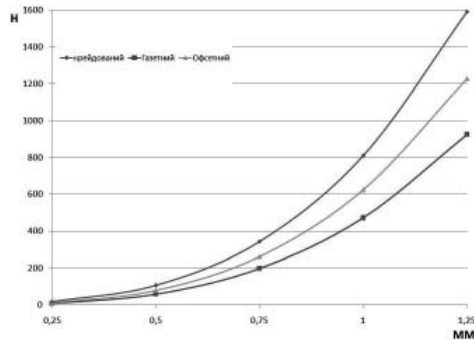


Рис. 6. Залежність сили різання від глибини різання

З графіка видно, що зростання глибини різання окремих лезом БРІ призводить до зростання сумарної сили різання для усіх видів паперу і, як наслідок, необхідності збільшення зусилля затиску книжкових блоків каретками транспортера, що може призвести до погіршення якості та точності обрізування книжкових блоків. З графіка видно, що зменшення глибини різання окремих лезом призводить до мінімізації сили різання. Проте, як показали проведені теоретичні дослідження впливу взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри та величину сили затиску книжкових блоків під час обрізування, при зменшенні глибини різання окремих лезом спостерігається значне зростання лінійних розмірів різального інструмента [3]. Отже, з огляду на лінійні розміри багатолезового різального інструмента, сили різання, що виникають під час обрізування книжкових блоків та якість обрізування книжкових блоків доцільною є глибина різання δ окремих лезом в межах від 0,3 мм до 0,7 мм залежно від виду паперу.

На рис. 7 представлено графік залежності сили різання, що виникає під час обрізування книжкового блока виготовленого з крейдованого паперу від радіуса заокруглення ріжучої крайки леза багатолезового різального інструмента. Мінімальний радіус заокруглення крайки утворюється під час загострення леза. В процесі різання радіус r_3 збільшується (затуплення леза) і при досягненні 0,024 мм є критичним (сила різання значно збільшується, якість різки суттєво погіршується) [6].

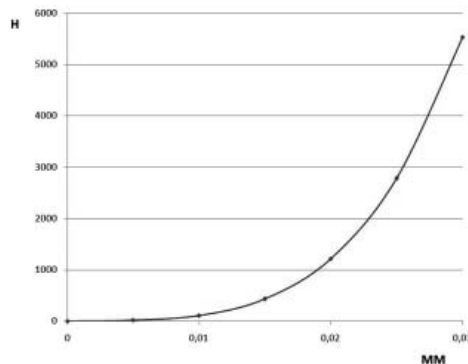


Рис. 7. Залежність сили різання від радіуса заокруглення вершини леза

Аналізуючи графік залежності представлений на рис. 7 можна стверджувати, що зі збільшенням радіуса заокруглення ріжучої крайки леза стрімко зростає сумарна сила різання. Так, за отриманими аналітичними залежностями (7, 8), сумарна сила різання, що виникає під час обрізування лезом із радіусом заокруглення ріжучої крайки леза $r_3 = 0,004$ мм книжкового блока виготовленого з крейдованого паперу становить 14 Н. Зі збільшенням радіуса заокруглення ріжучої крайки леза понад $r_3 = 0,01$ мм стрімко зростає величина сили різання (до 110 Н), що призводить до суттєвого зниження якісних показників процесу обрізування. При зростанні сили різання 1,5 – 2 рази радіус заокруглення леза багатолезового різального інструмента не повинен перевищувати $r_3 = 0,01$ мм при куті встановлення леза $\beta_g = 20^\circ$ [5].

Висновки. З огляду на величину сумарної сили різання оптимальним є діапазон кута встановлення β_g леза в межах $18^\circ \dots 25^\circ$ (залежно від виду паперу, з якого виготовлено книжковий блок), глибина різання δ одним лезом від 0,3 до 0,7 мм і радіусом r_3 заокруглення ріжучої крайки леза до 0,01 мм.

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

Список використаних джерел

1. Полюдов О. М. Дослідження параметрів процесу безвистійного обрізування книжкових блоків у машинах карусельного типу, / О. М. Полюдов, 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., Книш О. Б. Нові технології та пристрої для різання поліграфічних матеріалів та книжково-журнальних блоків: навчальний посібник. / П. В. Топольницький, О. Б. Книш – Львів: Афша, 2003. – 88 с.
7. Чехман Я.І. Друкарське устаткування: підруч. / Я.І. Чехман, В.Т. Сенкус, В.П. Дідич, В.О. Босак – Львів: УАД, 2005. – 468 с.

References

1. Poliudov O. M. (2003), Doslidzhennia parametriv protsesu bezvystiinoho obrizuvannia knyzhkovykh blokiv u mashynakh karuselnoho typu, / O. M. Poliudov, P. V. Topolnytskyi, Iu. V. Vatuliak // Naukovi zapysky. Vyp. 6 – Lviv: UAD. – S. 3-7. (in Ukrainian)
2. Topolnytskyi P. V. (2004), Konstruktyvni osoblyvosti rizalnoho instrumenta dlia obrizuvannia knyzhkovykh blokiv u mashyni karuselnoho typu / P. V. Topolnytskyi, Iu. V. Vatuliak // Naukovi zapysky. Vyp. 7 – Lviv: UAD. – S. 20-23. (in Ukrainian)
3. Topolnytskyi P. V. (2013), Vplyv vzaiemnoho roztashuvannia lez bahatolezovoho rizalnoho instrumenta na yoho rozmiry / P. V. Topolnytskyi, Iu. V. Vatuliak // Komp'uterni tekhnologii drukarstva. Vyp. 30 – Lviv: UAD. – S. 187-190. (in Ukrainian)
4. Vatuliak Iu. V. (2014), Vyznachennia tekhnolohichno neobkhdnoho zusyillia zatyskuvannia knyzhkovykh blokiv, shcho rukhaiutsia za kolovoiu traiektoriieiu pid chas yikh obrizuvannia / Iu. V. Vatuliak // Polihrafiia i vydavnycha sprava. Vyp. 4 (68). – Lviv: UAD. – S. 20-26. (in Ukrainian)
5. Topolnytskyi P. V. (2006), Eksperymentalni doslidzhennia protsesu obrizuvannia knyzhkovykh blokiv bahatolezovym rizalnym instrumentom u mashyni karuselnoho typu / P. V. Topolnytskyi, Iu. V. Vatuliak // Naukovi zapysky. Vyp. 9 - Lviv: UAD. – S. 44-49. (in Ukrainian)
6. Topolnytskyi P. V., Knysh O. B. (2003), Novi tekhnologii ta prystroi dlia rizannia polihrafichnykh materialiv ta knyzhkovo-zhurnalnykh blokiv: navchalnyi posibnyk. / P. V. Topolnytskyi, O. B. Knysh – Lviv: Afisha. – 88 s. (in Ukrainian)
7. Chekhman Ia.I. (2005), Drukarske ustatkuvannia: pidruch. / Ia.I. Chekhman, V.T. Senkus, V.P. Didych, V.O. Bosak – Lviv: UAD. – 468 s. (in Ukrainian)

THEORETICAL STUDIES OF POWER PARAMETERS OF BOOK BLOCKS TRIMMING WHEN MOVING ON CIRCULAR TRAJECTORY

P.V. Topolnytskyi, Yu.V. Vatuliak.

Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine

The results of theoretical studies of the effect of geometric dimensions and multi-knives cutting tool and physic-mechanical properties of paper on power parameters of book blocks trimming process during their movement on circular trajectory have been presented.

Key words: *book and journal blocks, multi-knives cutting tools, installation angle, angle of attack, the actual cutting angle, cutting depth, length of cutting line, deformation, strain, cutting force, paper.*

Стаття надійшла до редакції 10.02.2015

Received 10.02.2015