

УДК 686.12.056

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ОБРОБКИ КОРИНЦІВ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ ЦИЛІНДРИЧНИМ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ ГВИНТОВОЮ РІЗАЛЬНОЮ КРАЙКОЮ

О. Б. Книш

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

Важливою операцією в технологічному ланцюжку незшивного скріплення є обробка корінців книжкових блоків перед нанесенням клею. Проте інструменти є вартісними, а їхні приводи — енерговитратними. Констатовано, що ефективними є інструменти, які не потребують індивідуального електромеханічного привода, проте немає теоретичних наукових напрацювань щодо доцільності їхнього застосування. Запропоновано спосіб підготовки корінців книжкових блоків до нанесення клею, який внаслідок примусового руху транспортерами наштукатурюється корінцевою частиною на загострену під кутом гвинтову різальну крайку циліндричного інструмента, вільно встановленого в підшипниках. Завдяки цьому формуються на корінці строго паралельні прорізи під кутом до напрямку переміщення блока. Виведено аналітичні вирази для оцінки поточного вертикального, горизонтального і переміщення різальної крайки інструмента вздовж товщини книжкового блока та проведено розрахунки, за результатами яких побудовано графіки. За допомогою диференціювання складових переміщення отримано вирази для знаходження поточних швидкостей різальної крайки в трьох взаємно перпендикулярних напрямках і побудовано графіки їхньої залежності від кута повороту інструмента різного радіуса гвинтової різальної крайки.

Ключові слова: книжково-журнальна продукція, незшивне скріплення, гвинтова різальна крайка, довжина дуги контакту, кут охоплення, переміщення, швидкість.

Постановка проблеми. Скріплення книжково-журнальної продукції за допомогою клею є найбільш поширеним серед інших способів. Це пояснюється низкою чинників, серед яких поблочне скріплення під час транспортування напівфабрикатів, можливість агрегування машин незшивного скріплення у поточкові лінії у складі підбиральних агрегатів та машин для обрізування із трьох боків, мала собівартість. Важливою операцією у технологічному ланцюжку незшивного скріплення є обробка корінців книжкових блоків перед нанесенням клею. Інструменти, які для цього застосовуються, є вартісними, для них необхідний потужний привод, і вони не завжди створюють необхідні передумови якісного клейового скріплення. Відомі інструменти [1] для обробки корінців книжкових блоків, що не потребують індивідуального електромеханічного привода. Однак немає наукового доробку щодо теоретичного обґрунтування доцільності їхнього застосування.

Актуальність статті. З огляду на сформульовану проблему, запропоновані у статті теоретичні дослідження обробки корінців книжкових блоків інструментом із гвинтовою різальною крайкою становлять значний інтерес для фахівців, а сама стаття є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якість виконання технологічної операції обробки корінців створює передумови для подальшого якісного незшивного скріплення книжково-журнальної продукції. Забезпечення необхідної шорсткості корінця та властивості паперу є чинниками впливу на міцність клейового з'єднання [2].

Автори праць [3, 4] пропонують обробку корінців здійснювати різцями, що закріплені до дискових різальних інструментів, які своєю чергою приєднуються до вихідних ланок циклових механізмів, що забезпечують їхній привод. В обох випадках застосування циклових механізмів для привода торшонувальних інструментів спричинює виникнення, окрім технологічних, великих інерційних навантажень, що унеможлиблює застосування у швидкісних машинах незшивного скріплення книжково-журнальної продукції, призводить до вібрацій, значного рівня шуму.

Оригінальну ідею обробки корінців запропоновано у праці [5]. Однак потрібно зазначити, що у цьому випадку потрібен електромеханічний привод різальних інструментів, що збільшує габарити секції та потужність машини незшивного скріплення загалом.

Аналіз кінематичних параметрів різання книжкових блоків дисковим ножом з ексцентричним рухом розглянуто у праці [6]. За результатами досліджень, виявлено два режими різання: безперервне різання — з постійним контактом між різальною крайкою та матеріалом і періодичне різання — за допомогою імпульсного впливу ножа на матеріал. Застосування ексцентрично закріпленого дискового ножа потребує окремого привода, може спричинювати вібрації, а сама технологічна операція не може бути застосована для обробки корінців перед нанесенням клею.

У працях [7, 8] для обробки корінців при НКС запропоновано застосовувати інструменти без електромеханічного привода, які урухомлюються завдяки контакту різальних крайок із книжковими блоками. Очевидною перевагою таких засобів обробки корінців є енергоощадність, що пояснюється відсутністю електромеханічного привода і, як наслідок, зменшенням рівня шуму та мінімізацією габаритів відповідної секції машини.

Найбільш наближеною до теми статті є наукова публікація [8]. У випадку застосування інструмента з гвинтовою різальною крайкою автори лише частково дослідили кінематику процесу, не встановивши залежності між геометричними характеристиками різального інструмента та технологічними параметрами обробки корінців.

Мета статті — дослідження геометричних та кінематичних параметрів обробки корінців книжкових блоків циліндричним інструментом із гвинтовою різальною крайкою.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пропонований спосіб підготовки корінця книжкового блока *КБ* (рис. 1) до нанесення клею полягає в його

встановленні та фіксуванні між траковими транспортерами 1, 2 для переміщення з постійною лінійною швидкістю V_6 [1]. Унаслідок руху блок наштовхується корінцевою частиною на загострену під кутом гвинтову різальну крайку шнека 3, встановленого в підшипникових вузлах 4, 5 на станині 6. Крайка шнека врізається одночасно в блок на глибину h в декількох місцях із кроком k . Внаслідок примусового обертання шнека вона формує на корінці строго паралельні прорізи під кутом β у напрямку переміщення KB . Після обробки він транспортується на операцію нанесення клею на його корінцеву частину.

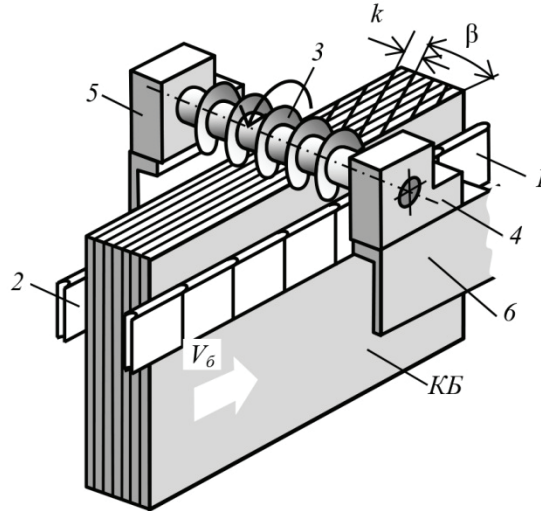


Рис. 1. Принципова схема пристрою для підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею для незшивного скріплення

Контакт гвинтової різальної крайки шнека 3 (рис. 2) з корінцем книжкового блока KB визначають геометричні параметри: A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3 — довжина дуги контакту, α — кут охоплення дуги контакту різальної крайки шнека в площині транспортування блока.

Кут охоплення дуги контакту різальної крайки шнека та довжину її хорди в площині транспортування блока знаходимо за виразами:

$$\alpha = 2 \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right), \quad (1)$$

$$L = 2R \sqrt{2 \left(\frac{R}{h} \right) - 1}, \quad (2)$$

де R — радіус гвинтової різальної крайки шнека.

За результатами розрахунків за виразами (1), (2) на рис. 3, а та рис. 3, б зображено графіки залежності $\alpha = f(h)$ та $L = f(h)$.

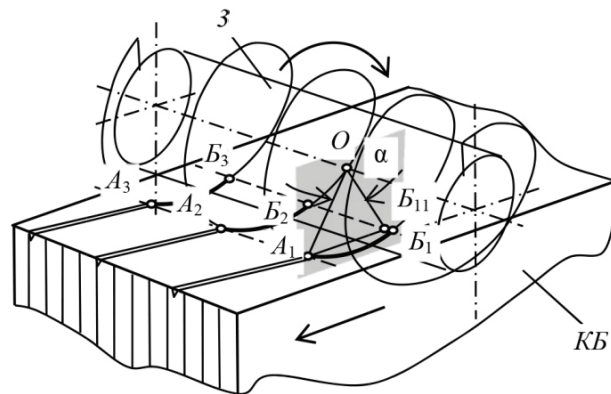


Рис. 2. Схема до розрахунку геометричних параметрів контакту різальної крайки шнека з корінцевою частиною книжкового блока

Як видно з графіка (рис. 3, а), зі збільшенням глибини проникнення гвинтової різальної крайки шнека зростає кут охоплення дуги контакту інструмента з корінцевою частиною блока. Так, для його радіуса $R = 25$ мм і $h = 0,1$ мм, $\alpha = 10,3^\circ$. Збільшення глибини врізування різальної крайки в 10 разів призводить до аналогічної зміни кута охоплення дуги контакту в 3,15 раза. Протилежну зміну виявлено під час зростання радіуса інструмента. Встановлено, що для $h = 0,75$ мм кут охоплення дуги контакту інструмента з корінцевою частиною блока змінюється від $\alpha = 28^\circ$ для $R = 25$ мм до $\alpha = 22^\circ$ для $R = 40$ мм.

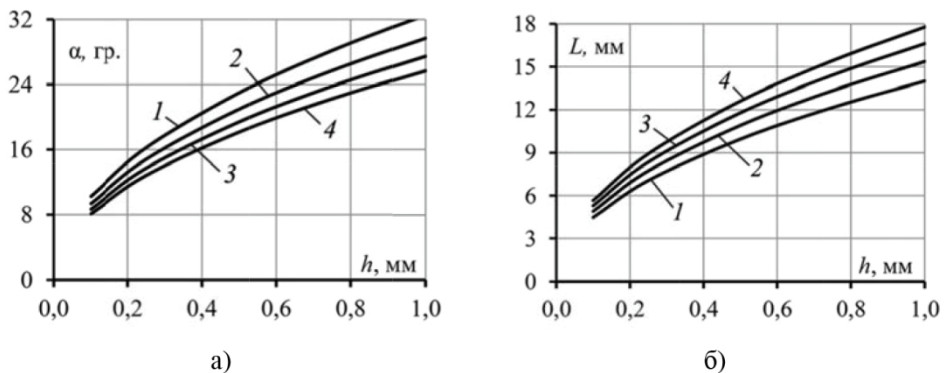


Рис. 3. Графіки залежності кута охоплення дуги контакту різальної крайки інструмента (а) та довжини його хорди в площині транспортування блока (б) від глибини врізування для радіусів інструмента: 25 мм (1), 30 мм (2), 35 мм (3) і 40 мм (4)

Як підтверджують графіки (рис. 3, б), довжина хорди дуги контакту інструмента з корінцевою частиною блока в площині його транспортування збільшується зі зростанням глибини проникнення в корінець гвинтової різальної крайки. Встановлено, що для $R = 40$ мм і $h = 0,1$ мм — $L = 5,7$ мм, а для $h = 1,0$ мм — $L = 17,8$ мм, що втричі більше від найменшого значення проникнення різальної крайки

в матеріал. Аналогічну зміну виявлено під час збільшення радіуса інструмента: для $h = 0,5$ мм співвідношення L_{max}/L_{min} становить 1,27.

Внаслідок контакту гвинтової різальної крайки радіусом R_3 (рис. 4) з корінцевою частиною книжкового блока КБ, що рухається горизонтально з лінійною швидкістю V_6 , інструмент 3 отримує обертовий рух із кутовою швидкістю $\omega_3 = V_6/R_3$. У точці A_0 різальна крайка врізається в корінець блока, виконує дугоподібний рух і в точці A_2 виходить за його межі.

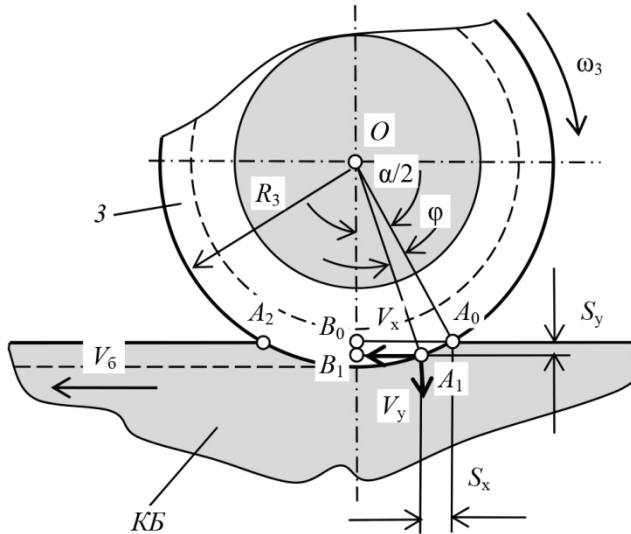


Рис. 4. Схема до розрахунку кінематичних параметрів контакту різальної крайки шнека з корінцевою частиною книжкового блока

Поточне вертикальне переміщення різальної крайки на ділянці кута $\alpha/2$ повороту інструмента:

$$S_y = OB_1 - OB_0 = R \left[\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right], \quad (3)$$

де φ — поточний кут його повороту.

Для знаходження поточної горизонтальної складової переміщення різальної крайки скористаємося виразом:

$$S_x = B_0A_0 - B_1A_1 = R \left[\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) \right]. \quad (4)$$

Поточне переміщення різальної крайки уздовж товщини книжкового блока [9]:

$$S_z = \frac{(p \cdot \varphi)}{(2\pi)}, \quad (5)$$

де p — крок гвинта шнека.

За залежностями (3), (4), (5) проведено розрахунки переміщення різальної крайки шнека під час прорізування корінця блока в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, за результатами яких побудовані графіки. Як видно з графіків

залежності $S_x = f(\varphi)$, зображених на рис. 5, а, зі збільшенням кута повороту шнека горизонтальна складова переміщення різального лека в процесі обробки різанням кінця блока змінюється аналогічно. Варто звернути увагу на характер кривих, який візуально сприймається як лінійний. На значення горизонтальної складової переміщення різального лека впливає його радіус: якщо для $\varphi = 21^\circ$ і $R = 25$ мм, $S_x = 9$ мм, то для $R = 40$ мм S_x збільшується в 1,6 раза.

Характер кривих горизонтальної складової переміщення різального лека в процесі прорізування кінця блока відрізняється від попереднього через чітко виражену косинусоїдальну функцію (рис. 5, б). Як видно з графіків, переміщення лека інструмента на глибину $h = 1,0$ мм відбувається за умови різного кута повороту шнека, конструкція якого відрізняється радіусом крайки. Так, для $R_3 = 25$ мм — $\varphi = 32,5^\circ$, а для $R_3 = 40$ мм — $\varphi = 25,7^\circ$.

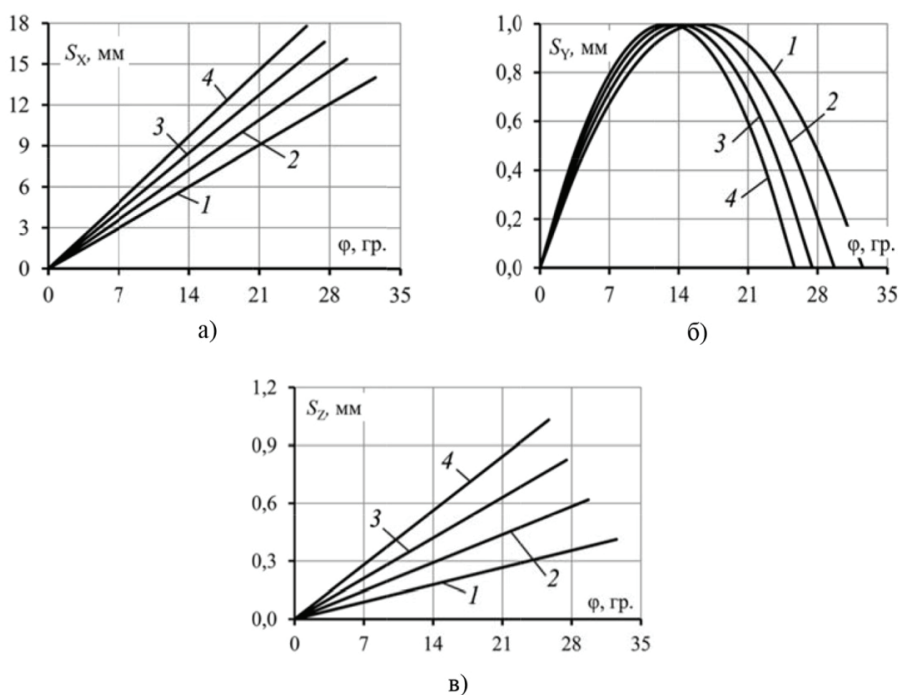


Рис. 5. Графіки залежності від кута повороту шнека горизонтального (а), вертикального (б) переміщення його гвинтової різальної крайки радіусом: 25 мм (1), 30 мм (2), 35 мм (3) і 40 мм (4); переміщення уздовж товщини блока (в) гвинтової різальної крайки з кроком: 5 мм (1), 7,5 мм (2), 10,0 мм (3) і 12,5 мм (4)

З графіків залежності $S_z = f(\varphi)$, зображених на рис. 5, в, видно, що зі збільшенням кута повороту шнека складова переміщення різального лека уздовж товщини блока в процесі його обробки прорізуванням змінюється лінійно. Розрахунки засвідчили, що для $\varphi = 21^\circ$ і $p = 5,0$ мм мінімальним є значення $S_z = 0,26$ мм, а для $p = 12,5$ мм максимальним є $S_z = 0,85$ мм.

Для знаходження поточних складових швидкостей різальної крайки на ділянці кута $\alpha/2$ повороту інструмента диференціюємо залежності (3), (4), (5):

$$V_y = \frac{dS_y}{dt} = R \cdot \omega_3 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right). \quad (6)$$

$$V_x = \frac{dS_x}{dt} = R \cdot \omega_3 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right). \quad (7)$$

$$V_z = \frac{dS_z}{dt} = \frac{p \cdot \omega_3}{2\pi}. \quad (8)$$

За виразами (6), (7), (8) розраховано швидкість різальної крайки шнека протягом часу прорізування корінця блока в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, а за їхнім результатами побудовано графіки. Як видно з графіків залежності $V_x = f(\varphi)$, зображених на рис. 6, а, горизонтальна складова швидкості різального леза в процесі обробки різанням корінця блока має форму вертикальної симетричної параболи з максимальним значенням $V_x = 1,0$ м/с. Зміну радіуса гвинтової різальної крайки з $R_3 = 25$ мм до $R_3 = 40$ мм супроводжує зміна початкової (кінцевої) горизонтальної складової швидкості її врізання з $V_x = 0,96$ м/с до $V_x = 0,975$ м/с.

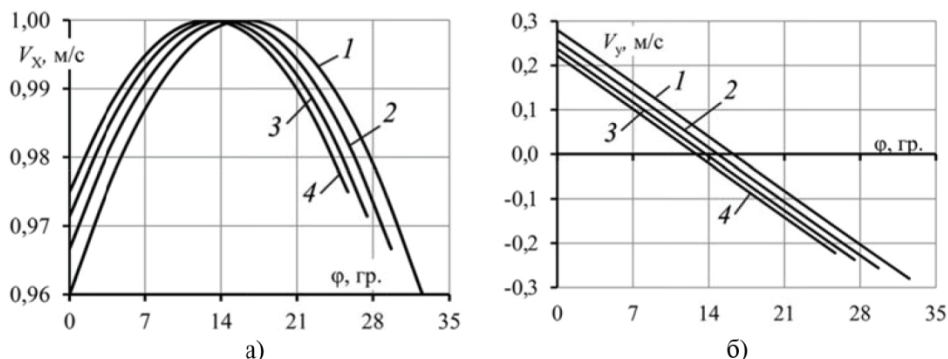


Рис. 6. Графіки залежності від кута повороту шнека горизонтальної (а) та вертикальної (б) швидкості його гвинтової різальної крайки радіусом: 25 мм (1), 30 мм (2), 35 мм (3) і 40 мм (4)

Як видно з графіків, зображених на рис. 6, б, зі збільшенням кута повороту шнека вертикальна складова швидкості різального леза в процесі обробки різанням корінця блока супроводжується монотонним (майже лінійним) зменшенням із симетричним переходом додатного значення у від'ємне. Розрахунки засвідчили, що для радіуса гвинтової різальної крайки $R_3 = 25$ мм початкова (кінцева з протилежним знаком) вертикальна складова швидкості врізування становить $V_y = 0,28$ м/с, а для $R_3 = 40$ мм — $V_y = 0,22$ м/с.

Висновки. Запропоновано спосіб підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею, що передбачає його переміщення траковими транспортерами з постійною лінійною швидкістю, взаємодію корінцевої частини із загостреною під кутом гвинтовою різальною крайкою шнека. Внаслідок примусового обертання вона формує на корінці строго паралельні прорізи під кутом до напрямку переміщення

книжкового блока. Встановлено, що контакт гвинтової різальної крайки шнека з корінцем книжкового блока визначає довжина дуги контакту та кут охоплення дуги контакту різальної крайки шнека в площині транспортування блока. Досліджено збільшення довжини хорди (L) дуги контакту інструмента з корінцевою частиною блока в площині його транспортування з посиленням глибини проникнення в корінець гвинтової різальної крайки з $h = 0,1$ мм до $h = 1,0$ мм для різного радіуса інструмента. Виведено аналітичні залежності, на основі яких проведено розрахунки переміщення різальної крайки шнека під час прорізування корінця блока в трьох взаємно перпендикулярних напрямках інструментом із радіусом $R_3 = 25; 30; 35$ і 40 мм із кроком гвинта $p = 5; 7,5; 10$ і $12,5$ мм. За розрахованими даними побудовано графіки та досліджено характер кривих. Поточні складових швидкості різальної крайки отримано за допомогою диференціювання її переміщення. Встановлено, що горизонтальна складова швидкості різального леза в процесі обробки різанням корінця блока має форму вертикальної симетричної параболи з максимальним значенням $V_x = 1,0$ м/с, а вертикальну складову супроводжує монотонне зменшення із симетричним переходом додатного значення у від'ємне. Отримані результати будуть використані для обґрунтування раціональних параметрів інструмента та дослідження механіки процесу врізування різальної крайки шнека на всіх етапах взаємодії з корінцем блока.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полюдов О. М., Книш О. Б. Сучасні тенденції удосконалення засобів та пристроїв обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2014. № 3 (48). С. 63–68. URL: <http://nz.uad.lviv.ua/static/media/3-48/14.pdf>.
2. Preprotić S., Lajić B., Jurečić D. Perfect binding technique affects the paperback adhesive binding strength. Paper presented at the 15th International Conference of Printing and Graphic Communications Blaž Baromić 2011 proceedings. 2011. Pp. 428–436.
3. Іванко А. І., Гриценко Д. С. Пристрій для зрізування корінцевих фальців у книжкових блоках при незшивному клейовому скріпленні. Комп'ютерні технології друкарства. 2010. № 24. С. 241–247. URL: http://www.ctp.uad.lviv.ua/images/ktd/24_ivanko.pdf.
4. Іванко А. І., Кухарук Д. Г. Автоматизоване проектування пристрою для обробки корінця книжкового блока засобами SolidWorks. Технологія і техніка друкарства. 2011. № 4 (34). С. 84–87. URL: <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/33495/30041>.
5. Книш О. Б. Технологія обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні. Технологічні комплекси. 2013. № 2 (8). С. 95–99.
6. Petriaszwili G., Janicki P., Komarov S. Investigations on book cutting by circular knife with eccentric blade movement. Paper presented at the 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID 2020. Pp. 229–233. doi:10.24867/GRID-2020-p24.
7. Experimental evaluation of the tractive effort of the chain conveyor during book block spine processing by cylindrical milling cutter at perfect binding / Knysh O., Rehei I., Kandiak N., Temytskyi S. Acta mechanica et automatica. 2019. Vol. 13. № 2. Pp. 101–106. doi: 10.2478/ama-2019-0014.

8. Полюдов О. М., Герус О. І. Кінематика пристрою з гвинтовим ножом для утворення рельєфу на корінці книжкового блока при незшивному скріпленні. Поліграфія і видавнича справа. 2012. № 1 (57). С. 76–80. URL: <http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-57/13.pdf>.
9. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин : підруч. Львів, 2003. 560 с.

REFERENCES

1. Poliudov, O. M., & Knysh, O. B. (2014). Suchasni tendentsii udoskonalennia zasobiv ta prystroiv obrobky korintsia knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 3 (48), 63–68. Retrieved from <http://nz.uad.lviv.ua/static/media/3-48/14.pdf> (in Ukrainian).
2. Preprotić, S., Lajić, B., & Jurečić, D. (2011). Perfect binding technique affects the paperback adhesive binding strength. Paper presented at the 15th International Conference of Printing and Graphic Communications Blaž Baromić 2011 proceedings, 428–436 (in English).
3. Ivanko, A. I., & Hrytsenko, D. S. (2010). Prystrii dlia zrizzuvannia korintsevvykh faltsiv u knyzhkovykh blokakh pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni: Komp'uterni tekhnolohii drukarstva, 24, 241–247. Retrieved from http://www.ctp.uad.lviv.ua/images/ktd/24_ivanko.pdf (in Ukrainian).
4. Ivanko, A. I., & Kukharuk, D. H. (2011). Avtomatyzovane proektuvannia prystroiu dlia obrobky korintsia knyzhkovoho bloka zasobamy SolidWorks: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 4 (34), 84–87. Retrieved from <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/33495/30041> (in Ukrainian).
5. Knysh, O. B. (2013). Tekhnolohiia obrobky korintsia knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni: Tekhnolohichni kompleksy, 2 (8), 95–99 (in Ukrainian).
6. Petriaszwili, G., Janicki, P., & Komarov, S. (2020). Investigations on book cutting by circular knife with eccentric blade movement. Paper presented at the 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID 2020, 229–233. doi:10.24867/GRID-2020-p24 (in English).
7. Knysh, O., Rehei, I., Kandiak, N., & Ternytskyi, S. (2019). Experimental evaluation of the tractive effort of the chain conveyor during book block spine processing by cylindrical milling cutter at perfect binding: Acta mechanica et automatica, 13, 2, 101–106. doi: 10.2478/ama-2019-0014 (in English).
8. Poliudov, O. M., & Herus, O. I. (2012). Kinematyka prystroiu z hvyntovym nozhem dlia utvorennia reliefu na korintsii knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu skriplenni: Polihrafiia i vydavnycha справа, 1 (57), 76–80. Retrieved from <http://pvs.uad.lviv.ua/static/media/1-57/13.pdf> (in Ukrainian).
9. Pavlyshche, V. T. (2003). Osnovy konstruiuvannia ta rozrakhunok detalei mashyn. Lviv (in Ukrainian).

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF BOOK BLOCK SPINE PROCESSING BY A CYLINDRICAL TOOL WITH A SCREW CUTTING EDGE

O. B. Knysh

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
knolehb@gmail.com*

The article states that the perfect binding of book blocks is the most common method among others. This is due to the block binding during transportation of semi-finished products, the possibility of aggregation of perfect binding machines into production lines. The emphasis is placed on an important operation in the technological chain of perfect binding – processing the book block spines before applying the adhesive. However, cutting tools are expensive, and their drives are energy-intensive, which do not always provide the prerequisites for high-quality perfect binding. The effectiveness of cutting tools for book block spine processing is shown that do not require an individual electromechanical drive. Theoretical scientific developments on the expediency of its application are relevant. A method in which, during the movement of the book block, it encounters by its spine on the sharpened at some angle screw cutting edge of the cylindrical cutting tool is proposed. The tool is freely mounted in bearings. Due to the interaction, strictly parallel slits are formed at the block spine at an angle to the direction of the block movement. It is noted that the contact of the screw cutting edge with the book block spine is determined by geometric parameters: the length of the contact arc and the angle of its coverage in the plane of the block transportation. According to calculation results, graphical dependencies are obtained. It is researched that the contact of the screw cutting edge with the book block spine, causes the rotational motion with the angular velocity of the cylindrical cutting tool. Analytical expressions to estimate the current vertical, horizontal and displacement of the cutting edge along the thickness of the book block are derived. The calculations are made, based on the results of which graphs are constructed. Differentiation of displacement dependences yielded expressions for finding the component of velocities of the cutting edge in three mutually perpendicular directions. The graphs of its dependence on the angle of rotation of the cylindrical cutting tool with different radius of the screw cutting edge are constructed. It is stated that the obtained results will be used to substantiate the rational parameters of the cutting tool and to study the mechanics of the cutting process by the auger cutting edge of the book block spine.

Keywords: *book and magazine products, perfect binding, screw cutting edge, length of contact arc, coverage angle, movement, velocity.*

Стаття надійшла до редакції 05.03.2021.

Received 05.03.2021.