УДК 686.12.056

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ КЛЕЙОВОГО СКРІПЛЕННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ

О. Б. Книш, І. М. Кравчук, С. В. Терницький

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

Досліджено міцність і довговічність незшивного клейового скріплення книжкових блоків за умови обробки корінців дисковими різцями нахиленими під кутом. Дослідження проводились на експериментальному стенді змонтованому на машині незшивного скріплення Trendbinder.

За результатами експериментальних досліджень визначено оптимальні, з точки зору забезпечення максимальної міцності та довговічності, режими обробки корінців дисковими різцями.

Ключові слова: *клейове скріплення, книжковий блок, корінець, дисковий різець, «pull»-тест, «flex»-тест.*

Постановка проблеми. Технологічний процес обробки корінців книжкових блоків при незшивному клейовому скріпленні (НКС) передбачає виконання комплексу операцій, які спрямовані на створення передумов міцного скріплення. Для цього застосовуються різноманітні інструменти: дротяні щітки, вирівнювальні фрези, різці та ін. Інколи довжина відповідних секцій становить 2–2,5 м, а потужність сягає 7–10 кВт. Слід зазначити, що не завжди така комплексна обробка корінців сприяє подальшому міцному і довговічному скріпленню книжкової продукції, що найбільш відчутно при застосуванні крейдованих паперів.

З огляду на окреслену проблему можна стверджувати, що роботи спрямовані на її вирішення є актуальними, а експериментальна оцінка міцності та довговічності клейового скріплення книжкових блоків є важливою і невід'ємною складовою таких досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження щодо удосконалення технології НКС ведуть науковці в Україні та за кордоном. Однак необхідно відзначити, що в основному вони спрямовані на удосконалення клеїв, технології їхнього нанесення на корінці, сушіння. Так, зокрема, у працях [1–2] досліджується міцність НКС за умови застосування pur-клею при існуючій технології обробки корінців. Автори роблять висновок щодо доцільності застосування цього клею для продукції високої якості, що виготовлена із крейдованого паперу.

У праці [3] досліджувалась кінетика природнього та мікрохвильового сушіння клейових з'єднань книжкових блоків, за результатами яких визначено оптимальні режими сушіння та їх вплив на якість кінцевого продукту — книги. Автори у статті [4] досліджують зміну шорсткості корінців залежно від товщини блоків

оброблених торцевими фрезами. Результатом роботи є рекомендації щодо матеріалу різальної частини торцевих фрез. У публікації [5] представлено результати досліджень реологічної моделі книжкових блоків під дією сил різання спричинених торцевою фрезою. Однак теза авторів про необхідність застосування у конструкції фрез додаткових «деформуючих» зубів має лише теоретичне припущення і потребує експериментального дослідження, зокрема і на міцність та довговічність клейового скріплення книжкових блоків. Автори у працях [6, 7] дослідили вплив виду паперу на його адгезію до клею, і пропонують збільшувати міцність НКС через його нанесення за технологією двостороннього розпуску аркушів.

Оригінальні ідеї щодо удосконалення засобів обробки корінців при клейовому скріпленні книжкових блоків запропоновані у статті [8]. Серед інших цікавими є інструменти, що приводяться завдяки прокочуванню по корінцях книжкових блоків. Однак необхідно зазначити, що запропоновані способи потребують подальших експериментальних досліджень.

У публікації [9] запропонована оригінальна ідея обробки корінців дисковими різцями, що закріплені під кутом на планшайбі. Наведені результати дають можливість здійснювати аналітичне програмування нанесення характерних канавок на корінець, однак не підкріплені результатами експериментальних досліджень. Частково ця проблема вирішена у статті [10], що підтверджено практичною реалізацією способу на машині незшивного скріплення. Також автор досліджує енергосилові параметри удосконаленого технологічного процесу обробки корінців. Однак питання міцності та довговічності НКС у згаданих роботах не розглядаються.

Отже, є підстави вважати, що для подальшого удосконалення та розвитку технології НКС є необхідність у проведенні ґрунтовних експериментальних досліджень способу обробки корінців дисковими різцями, що закріплені на планшайбі [9].

Мета статті — оцінити якість НКС книжкових блоків за умови обробки корінців дисковими різцями, що закріплені під кутом на планшайбі.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

- виявити вплив режимів обробки корінців на міцність та довговічність НКС книжкових блоків;
- розробити рекомендації щодо вибору оптимальних, з погляду забезпечення максимальної міцності і довговічності, режимів обробки корінців дисковими різцями;
- провести порівняльний аналіз отриманих результатів міцності із відповідними показниками для книжкових блоків оброблених за існуючою технологією.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводились на експериментальному стенді [10] змонтованому на машині незшивного скріплення Trendbinder (фірма Muller-Martini, Швейцарія). Використовувались книжкові блоки товщиною 20 мм та довжиною корінців 250 мм виготовлені із 4 видів паперу: офсетного (70 г/м^2), офсетного (75 г/м^2), крейдованого (85 г/м^2); крейдованого (120 г/м^2). Технологія підготовки корінців до нанесення клею передбачала зрізування корінцевих фальців торцевою фрезою, обробку вирівнювальною фрезою та дисковими різцями. В результаті на корінці утворювався характерний рельєф [9], фрагмент якого зображено на рис. 1.

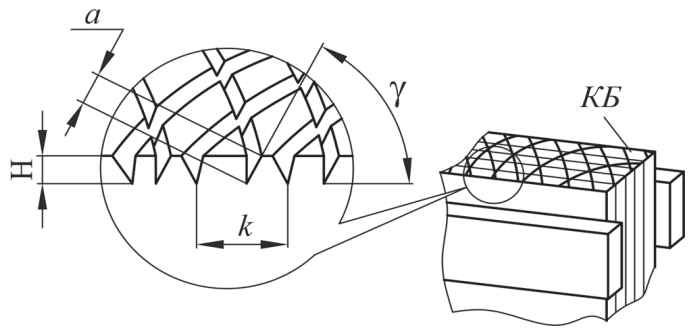

Рис. 1. Структура мікрорельєфу корінця книжкового блока обробленого дисковими різцями: *КБ* — книжковий блок, *H* — глибина канавок, *k* — крок канавок, *a* — довжина похилої сторони канавки, γ — кут нахилу канавки

Постійними параметрами під час експериментів були: радіус обертання дискового ножа *R*=95 мм; відстань між віссю обертання планшайби та центром симетрії книжкового блока — a_W = 45 мм; кут загострення дискових різців — α_3=21°; глибина канавок *H* = 0,8 мм; дослідження проводились при попутному русі ножа відносно напрямку переміщення книжкових блоків [9]. Змінні параметри: швидкість $V_Б$ переміщення книжкових блоків, кут γ нахилу ножа відносно корінця.

Заклеювання корінця здійснювалось термоклеєм та полівінілацетатною дисперсією (ПВАД) у клейовому апараті машини Trendbinder, що передбачає застосуванні трьох валиків. Перший здійснює «зволоження» клеєм корінця, при цьому зазор між ним та корінцем становить 0–0,5 мм; другий — наносить шар клею товщиною до 2 мм; третій — знімає залишки клею і забезпечує його товщину у межах 0,3–0,8 мм. Товщина клею обиралась залежно від виду паперу та клею згідно з технологічними інструкціями до машини Trendbinder.

Для оцінки міцності та довговічності клейового скріплення використано прилад типу PF-1 фірми Sigloch (Німеччина). Оцінювання міцності НКС проводилось методом «pull»-тесту, а довговічності — «flex»-тесту [11–12].

Оцінюючи міцність виривання окремого аркуша із книжкового блока («pull»-тест), використано такі нормативи [12]:

- при заклеюванні корінців термоклеєм: менше 4,5 Н/см — «погано»; 4,5–6,2 Н/см — «задовільно»; 6,2–7,2 Н/см — «добре»; понад 7,2 Н/см — «дуже добре»;
- при заклеюванні корінців дисперсійним клеєм (ПВАД): менше 5,5 Н/см — «погано»; 5,5–6,5 Н/см — «задовільно»; 6,5–7,5 Н/см — «добре»; понад 7,5 Н/см — «дуже добре».

Для оцінки довговічності методом «flex»-тесту використано такі нормативи [12]: для дисперсійного клею (ПВАД) *z*=3000–5000 перегортань; для термоклею — *z*=400–1000.

Результати досліджень зусилля *p* виривання аркушів із книжкових блоків залежно від кроку *k* канавок зображені на рис. 2. Ця серія експериментів проводилась при куті нахилу дискових ножів γ = 30°. Глибина канавок обиралась відповід-

но до умови зручного розкривання книги [13] і становила H=0,9 мм. Зміна кроку канавок забезпечувалась співвідношенням частоти обертання різців і швидкості переміщення книжкових блоків за відомою залежністю [9].

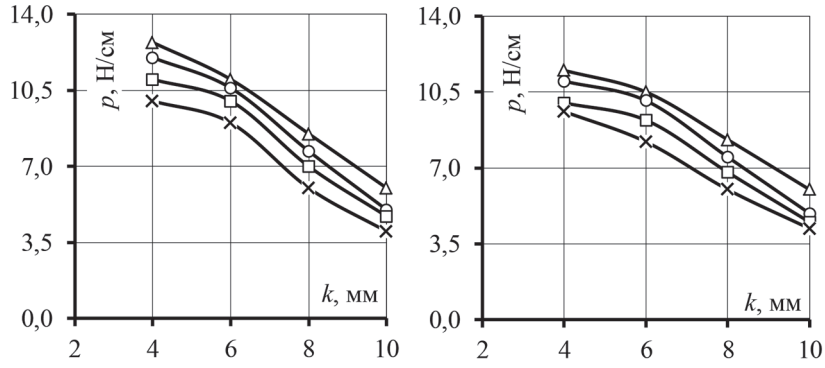

Рис. 2. Залежність лінійного зусилля p виривання аркушів із книжкових блоків від кроку k канавок для: ∆ — офсетного (70 г/м²); ○ — офсетного (75 г/м²); □ — крейдованого (85 г/м²); × — крейдованого (120 г/м²) паперів при заклеюванні корінців: а — ПВАД; б — термоклеєм

Необхідно відмітити ту обставину, що із збільшенням кроку k канавок зусилля p виривання аркушів із книжкових блоків стрімко зменшується. Наприклад, для крейдованого (85 г/м²) паперу при збільшенні значення кроку з 4-х до 10-ти мм лінійне зусилля зменшується з 11,0 до 4,7 Н/см для ПВАД, та з 10,0 до 4,5 Н/см для термоклею. Така тенденція є логічною і пояснюється зменшенням площі контакту між клеєм та книжковим блоком. Для усіх досліджуваних видів паперу зусилля виривання аркушів відповідає оцінці «дуже добре» згідно з нормативами [12]. Водночас відзначаємо, що при значеннях кроку канавок $k < 4$ мм відбувається «нашарування» одного профілю канавок на інший, чим нівелюється їх роль у зміцненні клейового скріплення (рис. 1). Тому дослідження при малих значеннях кроку канавок не проводились.

Результати досліджень зусилля p виривання аркушів із книжкових блоків залежно від кута γ нахилу дискових ножів зображені на рис. 3. Ця серія експериментів проводилась при глибині канавок H = 0,9 мм, швидкості переміщення книжкових блоків $V_Б$=0,5 м/с. Крок канавок становив k = 4 мм, що забезпечувалось двома різцями з частотою обертання n=3750 об/хв.

Згідно з отриманими результатами можна стверджувати, що зростання впливу кута нахилу дискових різців вдвічі (з 30° до 60°) спричинює зменшення лінійного зусилля виривання аркушів на 0,4–1,2 Н/см залежно від виду паперу. Така тенденція пояснюється різницею у площі контакту між клеєм та корінцем, яка у випадку зростання кута γ призводить до зменшення похилої сторони a канавки (рис. 1), а отже, до зменшення площі контакту. З огляду на цей результат кут нахилу дискових різців відносно корінців книжкових блоків потрібно обирати рівним γ = 30°.

Для об'єктивного оцінювання отриманих результатів проведено їх аналіз з аналогічними значеннями отриманими для існуючої обробки корінців, що передбачає зрізування корінцевих фальців торцевою фрезою, обробку дротяною щіткою, вирівнювальною фрезою та зубчастими різцями.

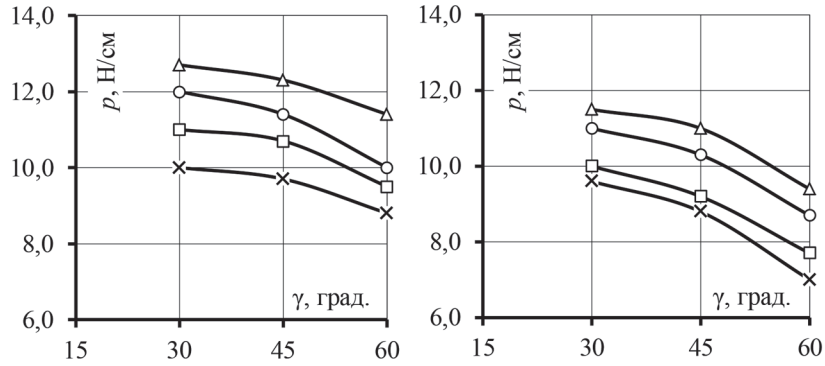

Рис. 3. Залежність лінійного зусилля *p* виривання аркушів із книжкових блоків від кута γ нахилу дискових різців для: ∆ — офсетного (70 г/м^2); ○ — офсетного (75 г/м^2); □ — крейдованого (85 г/м^2); × — крейдованого (120 г/м^2) паперів при заклеюванні корінців: а — ПВАД; б — термоклеєм

Із рис. 4 бачимо, що для усіх досліджуваних видів паперу при застосуванні дискових різців міцність скріплення на 22–34% (залежно від виду паперу) більша ніж при існуючій технології. Такі результати спостерігаються для обох застосованих видів клею — ПВАД і термоклею.

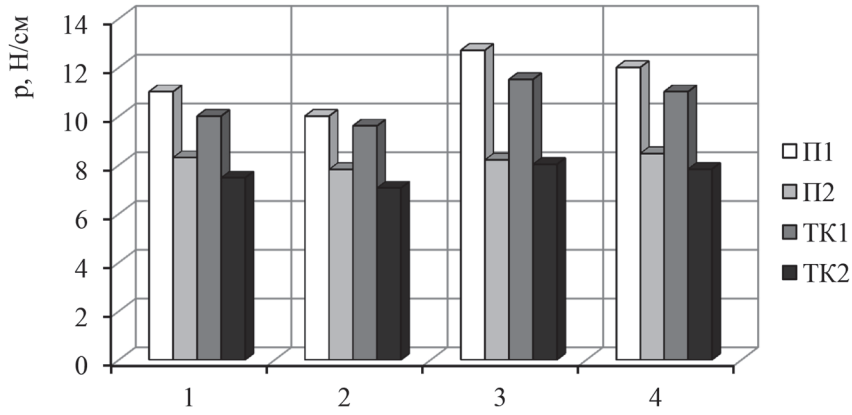

Рис. 4. Результати тестування лінійного зусилля *p* виривання аркушів із книжкових блоків при обробці корінців дисковими різцями і заклеюванні ПВАД (П1), термоклеєм (ТК1) та обробці за існуючою технологією і заклеюванні ПВАД (П2), термоклеєм (ТК2) для 1 — крейдованого (85 г/м^2); 2 — крейдованого (120 г/м^2); 3 — офсетного (70 г/м^2); 4 — офсетного (75 г/м^2) паперів

Порівняння результатів для офсетних і крейдованих паперів показує, що у першому випадку зусилля виривання аркушів є більшими на 1,7–1,9 Н/см. Це пояснюється більшою глибиною проникнення клею в офсетних паперів (10–20 мкм) ніж у крейдованих (5–10 мкм) [14].

На рис. 5 зображено результати досліджень довговічності книжкових блоків («flex»-тест) за умови обробки корінців нахиленими дисковими різцями.

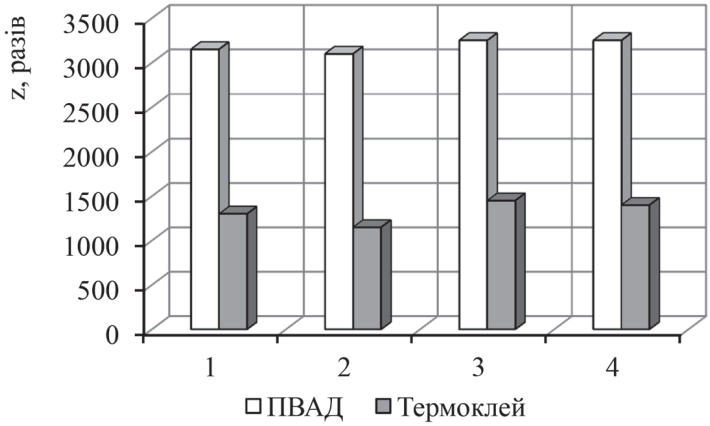

Рис. 5. Результати залежності кількості *z* перегортань аркушів книжкових блоків при заклеюванні корінців ПВАД та термоклеєм для 1 — крейдованого (85 г/м^2); 2 — крейдованого (120 г/м^2); 3 — офсетного (70 г/м^2); 4 — офсетного (75 г/м^2) паперів

Як бачимо із діаграми, кількість *z* перегортань при заклеюванні книжкових блоків ПВАД становить 3100–3250 разів, а для термоклею — 1150–1450. Отже, можна стверджувати, що в обох випадках дотримані нормативи [12] щодо довговічності книжкових блоків скріплених клеєм.

Порівняння міцності та довговічності при заклеюванні корінців ПВАД та термоклеєм (рис. 2–5) свідчить, що при застосуванні дискових різців та заклеюванні корінців ПВАД результати «pull»-тесту на 4,0–9,4% (залежно від виду паперу) кращі ніж для випадку з термоклеєм. Це підтверджує дослідження експлуатаційних властивостей ПВАД та термоклею проведених для традиційної технології обробки корінців на машинах незшивного скріплення [14].

Висновки. Досліджено вплив режимів обробки корінців на міцність і довговічність клейового скріплення книжкових блоків. Встановлено, що найбільший вплив на якість скріплення має крок нанесених канавок, а вплив кута нахилу дискових різців є мінімальним і становить 0,4–1,2 Н/см при збільшенні кута вдвічі: з 30° до 60°.

Для максимальної міцності та довговічності клейового скріплення книжкових блоків потрібно забезпечити нанесення канавок із кроком 4,0–4,5 мм, кут нахилу дискових різців відносно корінців має становити 30°. Для хорошого розкриття та зручного читання книги глибина канавок не повинна бути більшою 0,8–1,0 мм.

Порівняльний аналіз міцності скріплення книжкових блоків оброблених дисковими різцями та за існуючою технологією засвідчив, що у першому випадку міцність

скріплення на 22–34 % краща. Отримані кількісні показники якості клейового скріплення книжкових блоків дають підстави стверджувати про доцільність застосування удосконаленої технології НКС на виробничих машинах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Старченко О. П., Марченко И. В. Оценка эффективности использования PUR-клея при бесшвейном способе скрепления зданий. *Труды БГТУ*. 2013. № 8. С. 59–62. URL: http://elib.belstu.by/handle/123456789/6237.
2. Марченко И. В., Старченко О. П. Исследование прочности скрепления листов в корешке книжного блока при использовании pur-клея. *Труды БГТУ*. 2013. № 8. С. 34–38. URL: https://elib.belstu.by/handle/123456789/6227.
3. Effect of microwave drying of the spines of book blocks on the quality of printed mater / Havenko S., Korobchynskyi M., Yordan H., Kadyliak M., Bernatsek V. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2017. 6 (1 (90)). Pp. 68–79. URL: http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118006.
4. Протасьев В. Б., Омельченко Л. А. Особенности технологии фрезерования корешков бумажных блоков. *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2012. Вып. 2. С. 442–448. URL: https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/file/tsu_izv_technical_sciences_2012_02.pdf.
5. Протасьев В. Б., Омельченко Л. А. Учет реологических свойств обрабатываемых материалов при использовании процессов резания. *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2014. № 4. С. 122–127. URL: https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/file/tsu_izv_technical_sciences_2014_04.pdf.
6. Pasanec Preprotić S., Jakovljević M. Influence of high grades paper properties on Adhesive Binding Strength in a humid condition / XI Symposium on Graphic Arts, Conference Proceedings. University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics. 2013. Pp. 144–150. URL: https://bib.irb.hr/datoteka/635390.XI_SGA_proceedings.pdf.
7. Pasanec Preprotić S., Budimir I., Tomić G. Evaluation of binding strength depending on the adhesive binding methods. *Acta Graphica.* 2015. 1–2 (26). Pp. 20–27. URL: https://hrcak.srce.hr/file/214113.
8. 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.
9. Книш О. Б. Технологія обробки корінця книжкового блока при незшивному клейовому скріпленні. *Технологічні комплекси*. 2013. № 2 (8). С. 95–99.
10. Книш О. Б. Експериментальні дослідження крутних моментів під час обробки корінців книжкових блоків дисковими ножами. *Поліграфія і видавнича справа.* 2016. № 2. С. 123–129.
11. Petriaszwili G., Pyryev Y. Badania eksperymentalne wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki. *Acta mechanica et automatica.* 2009. Vol. 3. № 3. P. 68–70. URL: pbc.biaman.pl/Content/10012.
12. Fertigungstechniken Druckweiterverarbeitung. Klebebinden / Kurtz C., Kumler R., Spließ M., Kuen T., Dr. Onusseit. *Bundesverband Druck und Medien.* 2007. Pp. 18–20. URL: https://www.mediencommunity.de/system/files/05.06%20Klebebinden.pdf.

13. Гавенко С. Ф., Логазяк І. Ю., Туряб Л. В. Дослідження факторів впливу на кути розкривання книжкових блоків. *Технологія і техніка друкарства.* 2012. Вип. 1. С. 67–73. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titd_2012_1_12.
14. Гавенко С. Ф. Нормалізація технології незшивного клейового скріплення книг: теоретичні та практичні аспекти: монографія. Львів: Каменяр. 2002. 320 с.

REFERENCES

1. Starchenko, O. P., & Marchenko, I. V. (2013). Otcenka effektivnosti ispolzovaniia PUR-kleia pri besshveinom sposobe skrepleniia zdanii: Trudy BGTU, 8, 59–62. Retrieved from http://elib belstu.by/handle/123456789/6237 (in Russian).
2. Marchenko, I. V., & Starchenko, O. P. (2013). Issledovanie prochnosti skrepleniia listov v koreshke knizhnogo bloka pri ispolzovanii pur-kleia: Trudy BGTU, 8, 34–38. Retrieved from https://elib.belstu.by/handle/123456789/6227 (in Russian).
3. Havenko S., Korobchynskyi M., Yordan H., Kadyliak M., & Bernatsek V. (2017). Effect of microwave drying of the spines of book blocks on the quality of printed mater: Eastern-european journal of enterprise technologies, 6 (1 (90)), 68–79. Retrieved from http://dx.doi.org/10.15-587/1729-4061.2017.118006 (in English).
4. Protasev, V. B., & Omelchenko, L. A. (2012). Osobennosti tekhnologii frezerovaniia koreshkov bumazhnykh blokov: Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki, 2, 442–448. Retrieved from https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/file/tsu_izv_technical_sciences_2012_02.pdf (in Russian).
5. Protasev, V. B., & Omelchenko, L. A. (2014). Uchet reologicheskikh svoistv obrabatyvaemykh materialov pri ispolzovanii protcessov rezaniia: Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki, 4, 122–127. Retrieved from https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/file/tsu_izv_technical_sciences_2014_04.pdf (in Russian).
6. Pasanec Preprotić, S., & Jakovljević, M. (2013). Influence of high grades paper properties on Adhesive Binding Strength in a humid condition / XI Symposium on Graphic Arts, Conference Proceedings. University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics, 144–150. Retrieved from https://bib.irb.hr/datoteka/635390.XI_SGA_proceedings.pdf (in English).
7. Pasanec Preprotić, S., Budimir, I., & Tomić, G. (2015). Evaluation of binding strength depending on the adhesive binding methods: Acta Graphica, 1–2 (26), 20–27. Retrieved from https://hrcak.srce.hr/file/214113 (in English).
8. 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 (in Ukrainian).
9. Knysh, O. B. (2013). Tekhnolohiia obrobky korintsia knyzhkovoho bloka pry nezshyvnomu kleiovomu skriplenni: Tekhnolohichni kompleksy, 2 (8), 95–99 (in Ukrainian).
10. Knysh, O. B. (2016). Eksperymentalni doslidzhennia krutnykh momentiv pid chas obrobky korintsiv knyzhkovykh blokiv dyskovymy nozhamy: Polihrafiia i vydavnycha sprava, 2, 123–129. (in Ukrainian).
11. Petriaszwili, G., & Pyryev, Y. (2009). Badania eksperymentalne wyrywania arkusza z warstwy klejowej grzbietu książki: Acta mechanica et automatica, 3, 3, 68–70. Retrieved from pbc.biaman.pl/Content/10012 (in Polish).

12. Kurtz, C., Kumler, R., Spließ, M., Kuen, T., & Dr. Onusseit. (2007). Fertigungstechniken Druckweiterverarbeitung. Klebebinden: Bundesverband Druck und Medien, 18–20. Retrieved from https://www.mediencommunity.de/system/files/05.06%20Klebebinden.pdf (in German).
13. Havenko, S. F., Lohaziak, I. Yu., & Turiab, L. V. (2012). Doslidzhennia faktoriv vplyvu na kuty rozkryvannia knyzhkovykh blokiv: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 1, 67–73. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titd_2012_1_12 (in Ukrainian).
14. Havenko, S. F. (2002). Normalizatsiia tekhnolohii nezshyvnoho kleiovoho skriplennia knyh: teoretychni ta praktychni aspekty. Lviv: Kameniar (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2018-1-75-100-108

RESEARCH OF THE STRENGTH AND DURABILITY OF PERFECT BOUND BOOK BLOCKS

O. B. Knysh, I. M. Kravchuk, S. V. Ternytskyi

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

The strength and durability of perfect bound book blocks subjected to spine processing by disk cutter, that are inclined at an angle to the spine, have been studied. The paper shows that the problem of high quality of book perfect binding still remains relevant, especially for book blocks made from coated paper. Modern research is being carried out in two directions — the improvement of adhesives and the spine processing tools. This paper is focused on solving the problem of improving of spine processing.

The research has been carried out on the experimental stand that is mounted on the perfect binding machine Trendbinder. In this article, the influence of grooves step and the inclination of disk cutter relatively to the spine on the strength and durability of perfect bound book blocks has been determined. Book blocks made from coated paper weighing from 70 to 120 g/m^2 have been used for the research. Gluing of spines has been carried out by two types of adhesives — thermo and PVAD. The quality of adhesive binding has been evaluated using "pull" and "flex" methods.

In the outcomes, the experimental research has determined the optimal modes of spine processing by disk cutters in terms of providing maximum bound book blocks strength and durability. The article shows that the biggest influence on the strength of binding has the step of the applied grooves, also the effect of cutters inclination angle is minimal. It has been established that the strength of the bound blocks is in line with the assessment "very good" according to the known norms for all researched types of paper. The comparative analysis of the results shows an increase of strength compared to the relevant indexes for book blocks manufactured using the existing technology on the machine Trendbinder. The increase has been achieved by 22-34% according to "flex" test and by 4.0-9.4% according to "pull" tests.

Keywords*: perfect binding, book block, spine, disk cutter, "pull" test, "flex" test.*

Стаття надійшла до редакції 02.02.2018.
Received 02.02.2018.