

УДК 655.003+655.326.3+330.131.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВАКУУМНОГО ФОРМУВАННЯ
ДЛЯ НАНЕСЕННЯ РЕЛЬЄФНО-КРАПКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ
З ВИКОРИСТАННЯМ ПВХ-ПЛІВОК**

В. З. Маїк¹, Яцек Кусьмерчик², Т. Г. Дудок³

¹Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

²Польська гільдія лицарів Гутенберга,
вул. Маривільська, 34 Е, Варшава, 03-228, Польща

³Інститут фізичної оптики ім. О. Г. Влоха,
вул. Драгоманова, 23, Львів, 79005, Україна

Для людини з вадами зору дуже важливо бути соціалізованою у суспільство, так як за допомогою зору людина отримує 80-90 % інформації про навколишній світ. Особливо важливим є розробка і удосконалення технологій для виготовлення навчально-методичних матеріалів для людей з проблемами зору, що дає змогу забезпечити рівні можливості у навчанні і розвитку, а також сприяє їх соціальній інтеграції. Однією з найбільш перспективних технологій для виготовлення навчально-методичних видань для людей з проблемами зору є технологія вакуумного формування. Основна особливість способу вакуумного формування полягає у тому, що формування виробів здійснюється із заготовок плівкового полімерного матеріалу під дією тиску і температури. Під дією прикладених зусиль і температури плівки формуються у вироби та охолоджуються. Основним матеріалом для виготовлення навчально-методичних посібників та роздаткового матеріалу у технології вакуумного формування є полімерна плівка. Навчально-методичні видання виготовляються з легких полімерних матеріалів, які дають змогу отримувати рельєф різного рівня. Полімерний матеріал видання дає змогу створити чіткий контур, передати характерні особливості та деталі зображення. Навчальні посібники, виготовлені з використанням полімерних плівок, є легкими та довговічними. Досліджено удосконалений технологічний процес вакуумного формування з використанням картонних матриць для нанесення шрифту Брайля. Проведено дослідження якості нанесення рельєфно-крапкових і штрихових зображень різної величини вакуумним формуванням з використанням різних типів ПВХ-плівок. Проведено дослідження залежностей висоти штрихів від ширини штрихів на формі, залежностей висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отворів на формі, графічних спотворень в системі форма-відбиток для штрихів і елементів шрифту Брайля.

Ключові слова: вакуумне формування, шрифт Брайля, рельєфно-крапкові зображення, картонна матриця, ПВХ-плівки, висота елементів, ширина елементів, графічні спотворення.

Постановка проблеми. Під час виготовлення навчально-методичної продукції для людей з проблемами зору важливим є забезпечення точного відтворення рельєфно-крапкових зображень відповідно до вимог нормативних документів. Дотримання вимог нормативних документів при нанесенні шрифту Брайля забезпечує точність сприйняття інформації людьми з проблемами зору [1-5]. Для встановлення можливості якісного виготовлення рельєфно-крапкових зображень (шрифт Брайля) на ПВХ-плівках методом вакуумного формування з використанням картонних матриць та з метою встановлення достовірності відтворення геометричних параметрів цих зображень необхідно провести дослідження графічних спотворень в системі «форма-відбиток» та визначити висоту елементів шрифту Брайля.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Надзвичайно важливим є дослідження та оптимізація технологій вакуумного формування, що відображено у низці публікацій українських та зарубіжних науковців [6-18]. Хоча є досить значна кількість публікацій з тематики дослідження технології вакуумного формування, але важливим напрямом є удосконалення цих технологій для виготовлення продукції з нанесеними рельєфно-крапковими зображеннями (шрифт Брайля) для людей з проблемами зору.

Мета статті — провести експериментальні дослідження удосконаленого технологічного процесу вакуумного формування з використанням картонних матриць для оперативного виготовлення поліграфічної продукції з шрифтом Брайля на ПВХ-плівках.

Виклад основного матеріалу дослідження. У статті проведено дослідження удосконаленої технології вакуумного формування з використанням картонних матриць з визначенням величини спотворень у системі «форма-відбиток» елементів (крапок, штрихів) і висоти елементів шрифту Брайля.

Для дослідження якості вакуумного формування рельєфно-крапкових зображень використовували такі ПВХ-плівки, як Polyprint фірми «Plastics»: глянцева прозора матову товщиною 0,15 мм, 0,2 мм, 0,3 мм, 0,4 мм, 0,5 мм, прозора матову товщиною 0,2 мм, білу матову товщиною 0,3 мм, 0,4 мм, 0,5 мм. Виготовлення матриці з електроізоляційного картону здійснювалося на лазерному гравіювальному апараті «LaserPro C180 II» виробництва фірми GSC (США). Загальна товщина форм становить 0,59 і 0,88 мм. Для виготовлення рельєфно-крапкових зображень використовували пристрій для вакуумного формування EZ-Form Braille & Tactile (Brailon®) Duplicator. Дослідження процесу вакуумного формування проводилось в оптимальному режимі: 10 с нагрівання матеріалу, 20 с формування виробу з шрифтом Брайля.

У програмі CorelDRAW Graphics Suite X7 розроблена тест-шкала, яка наведена на рис. 1, використовується для репродукційно-графічних властивостей матриць (штампів) та друкарсько-технічних властивостей відбитків при вакуумному формуванні на різних видах матеріалів.

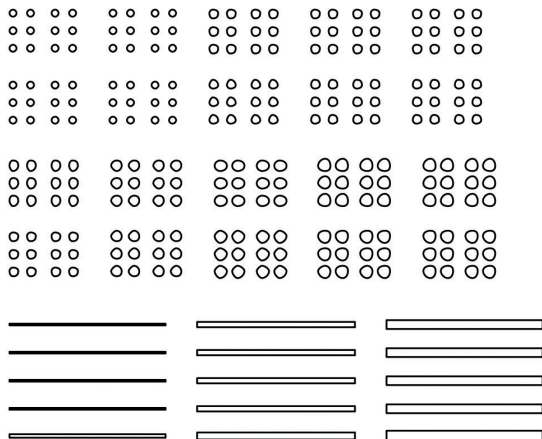


Рис. 1. Тест-шкала для дослідження якості штрихових елементів і крапок для вакуумного формування

Тест-шкала на рис. 1 складається з штрихових елементів, розміри яких становлять (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 мм), і крапок, розміри яких становлять (1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8 мм). Для визначення геометричних параметрів рельєфно-крапкових зображень використовували програмно-апаратний комплекс з використанням програмного забезпечення «Метрика».

На рис. 2 подано результати досліджень залежностей висоти штрихів від ширини штрихів на формі, отриманих на прозорих плівках ПВХ, а на рис. 3 — отриманих на матових (білих) плівках ПВХ. Оскільки на формі, зображеній на рис. 1, містяться і елементи шрифту Брайля, були проведені також дослідження залежностей висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отворів на формі.

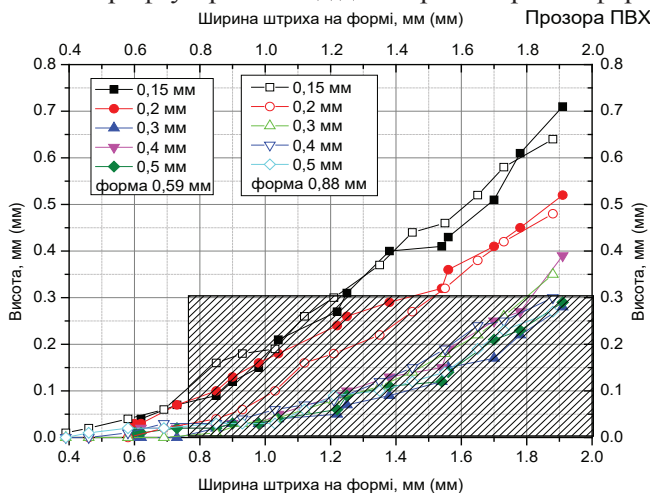


Рис. 2. Залежність висоти штрихів від ширини штриха на формі (матеріал — плівки ПВХ, прозорі)

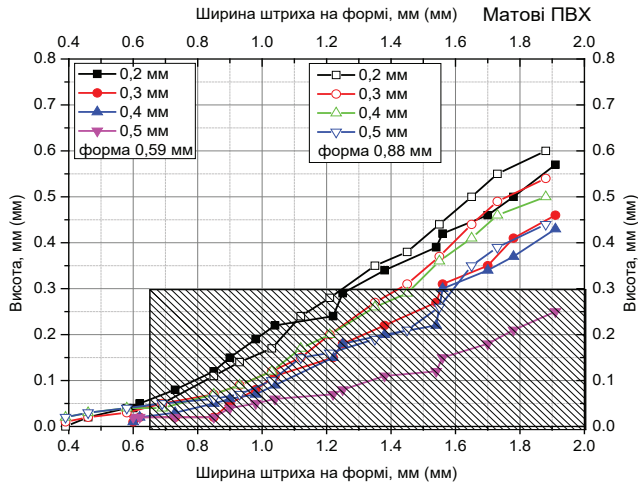


Рис. 3. Залежність висоти штрихів від ширини штриха на формі (матеріал — плівки ПВХ, білі, матові)

З проведених досліджень видно, що всі досліджувані в цих експериментах матеріали (за винятком білої матової плівки товщиною 0,5 мм) дають змогу отримати висоту штриха більшу за 0,4 мм, а залежність висоти штрихів від ширини штрихів на формі загалом є лінійною.

Також ці дослідження дають можливість встановити необхідну ширину штриха на формі для відтворення потрібної висоти цього штриха — висота штриха має бути максимально наближена до висоти елементів шрифту Брайля. Також можна припустити, що для вирішення певних методичних (навчальних) завдань висота штриха має бути обов'язково вищою або обов'язково нижчою за висоту шрифту Брайля. Отже, знаючи залежність висоти штрихів від ширини штриха на формі для конкретного матеріалу, можна виготовити штрихи потрібної висоти. Враховуючи той факт, що ця залежність для переважної більшості матеріалів має лінійний характер для ширини штриха на формі, більшого ніж 1 мм, виготовлення штрихів заданої висоти не становитиме труднощів.

Для встановлення відмінностей між шириною штрихів на формі та матеріалі було проведено дослідження графічних спотворень в системі форма–відбиток для штрихів. Результати цих досліджень наведені на рис. 4 (4.9) та рис. 5 (4.10).

Проведені дослідження показали, що для ширини штрихів на формі, які більші за 1,2 мм для прозорих та матових ПВХ-плівок, геометричні спотворення становлять менше 10 % для переважної кількості матеріалів (за винятком прозорої плівки ПВХ товщиною 0,15 мм), що є абсолютно прийнятним результатом.

Для розв'язання проблеми одночасного (на одному листі) виготовлення штрихових зображень і шрифту Брайля був проведений аналіз геометричних параметрів (діаметр основи та висота) елементів шрифту Брайля, виготовлених на тому самому листі, що і штрихи.

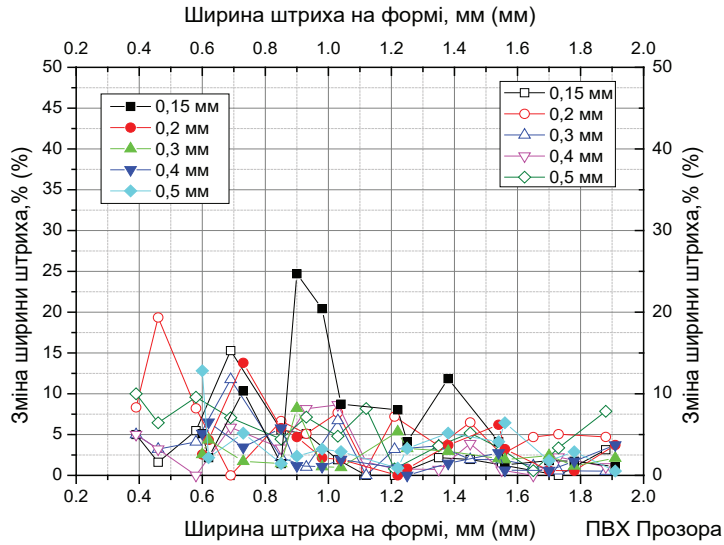


Рис. 4. Залежність зміни ширини штрихів від ширини штриха на формі (матеріал — плівки ПВХ, прозорі)

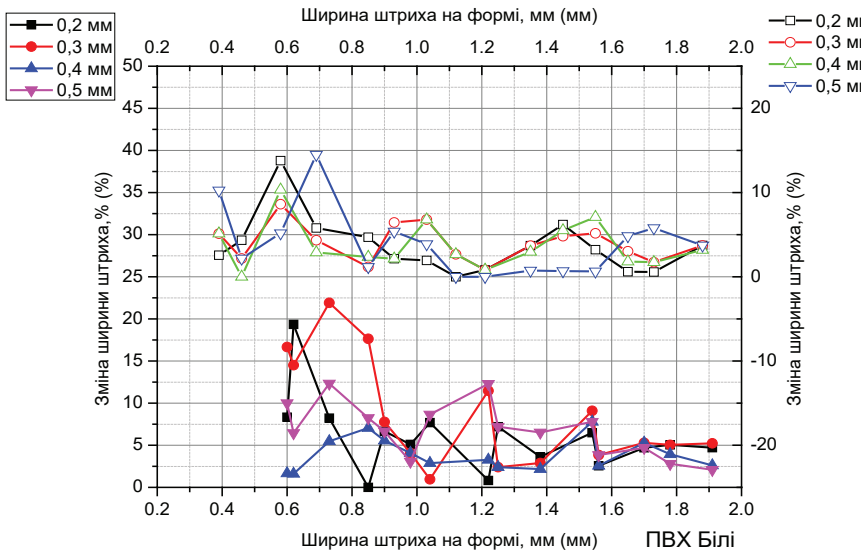


Рис. 5. Залежність зміни ширини штрихів від ширини штриха на формі (матеріал — плівки ПВХ, білі, матові)

На рис. 6 зображено залежність висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отвору на формі для прозорих плівок ПВХ, а на рис. 7 — залежність висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отвору на формі для матових плівок ПВХ.

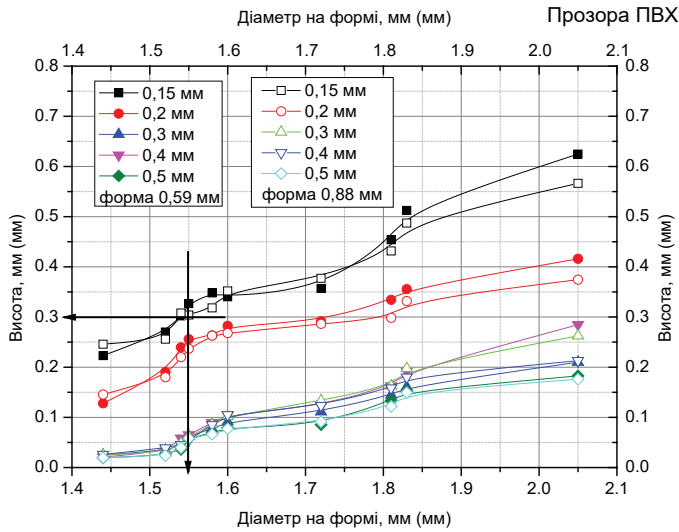


Рис. 6. Залежність висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отвору на формі (матеріал — плівки ПВХ, прозорі)

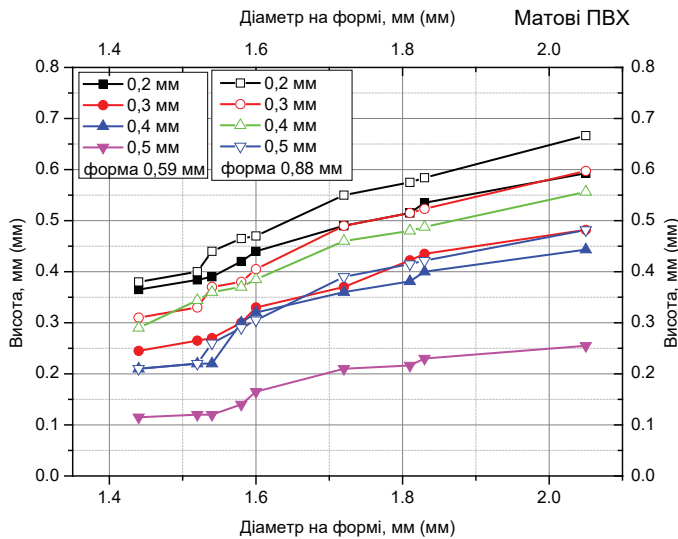


Рис. 7. Залежність висоти елементів шрифту Брайля від діаметра отвору на формі (матеріал — плівки ПВХ, білі, матові)

Також були проведені аналогічні дослідження графічних спотворень в системі форма-відбиток для елементів шрифту Брайля. Результати цих досліджень наведені на рис. 8 (4.13) та рис. 9 (4.14).

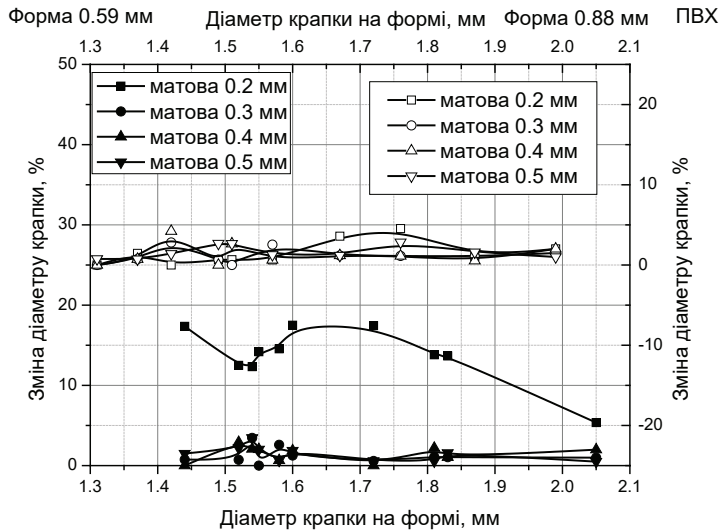


Рис. 8. Залежність зміни діаметра основи елементів шрифту Брайля на продукції від діаметра отвору на формі (матеріал — плівки ПВХ, прозорі)

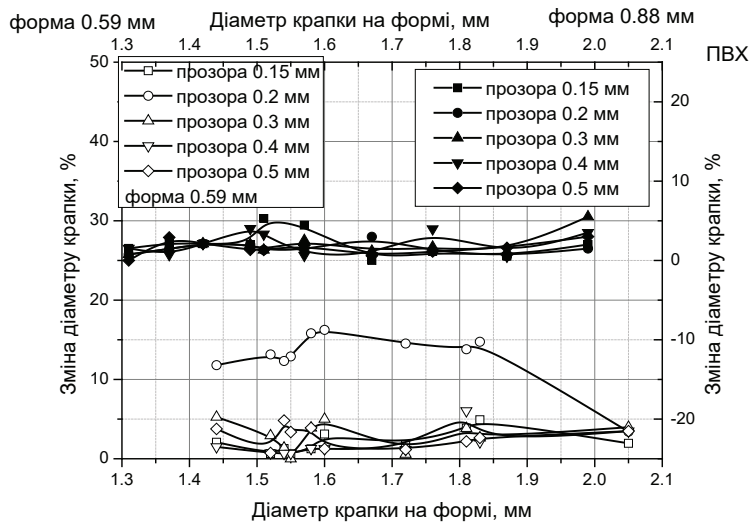


Рис. 9. Залежність зміни діаметра основи елементів шрифту Брайля на продукції від діаметра отвору на формі (матеріал — плівки ПВХ, білі, матові)

Практичне значення отриманих результатів таке: при проектуванні рельєфно-крапкових зображень із наперед заданими геометричними параметрами можна скористатися результатами досліджень, наведеними на рис. 2 та рис. 6 для прозорих плівок ПВХ, а рис. 3, рис. 7 для матових плівок ПВХ.

Наприклад, для прозорої плівки ПВХ товщиною 0,15 мм висота елементів шрифту Брайля згідно з рис. 6 для форми з отворами 1,55 мм становитиме 0,3 мм. Тоді із залежності, зображеної на рис. 2, визначаємо ширину штриха на формі, який дасть змогу отримати штрих на продукції необхідної висоти (0,3 мм). Ширини штриха на формі має бути 1,2 мм.

Висновки. З аналізу результатів цих досліджень можна зробити такі висновки: висота елементів шрифту Брайля є меншою за висоту штрихів для випадку рівності діаметра основи елемента шрифту Брайля та ширини штриха; прозорі плівки є більш «чутливі» до розмірів форми; геометричні спотворення для елементів шрифту Брайля практично для всіх матеріалів (за винятком прозорої плівки ПВХ товщиною 0,15 мм) менші ніж 10 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jiménez J. et al. Biography of louis braille and invention of the braille alphabet. *Survey of ophthalmology*. 2009. Vol. 54. № 1. Pp. 142–149.
2. Аналіз навчально-методичних технологій, засобів та пристроїв для інклюзивної освіти / Маїк В. З., Дудок Т. Г., Опомяк Ю. В., Тимошик М. А. *Квалілогія книги*. 2011. № 1 (19). С. 118–147.
3. Синьова С. П. Рельєфно-крапкове письмо сліпих. Шрифт Луї Брайля. Розділ 1 : навч. посіб. 2003. 108 с.
4. Бурчак О. К. Освіта сліпих: її сучасне та майбутнє. *Соціальне партнерство*. 2005. № 10. С. 26–27.
5. Проблеми стандартизації шрифту Брайля при виготовленні видань для незрячих / Маїк В. З., Дурняк Б. В., Голоб Г., Брацко С., Дудок Т. Г. *Поліграфія і видавнича справа*. 2013. № 3–4 (63–64). С. 68–77.
6. Прийменко О. А., Хмілярчук О. І. Комплексний показник якості пакувань та рекламної продукції, що виготовлені вакуумним формуванням. *Технологія і техніка друкарства*. 2013. № 1.
7. Суберляк О. В., Баштанник П. І. Технологія виробництва виробів із пластмас і композитів. Частина 1. Київ : ІСДО, 1995. 164 с.
8. Суберляк О. В., Баштанник П. І. Технологія формування виробів з пластмас. Частина 2. Технологія формування погонажних виробів. Київ : ІСДО, 1996. 84 с.
9. Суберляк О. В., Баштанник П. І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. Київ : 2006. 270 с.
10. Фабуляк Ф. Г., Іванов С. В., Масленнікова Л. Д. Полімерне матеріалознавство : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Книжк. вид-во Нац. авіац. ун-ту, 2006. 196 с.
11. Schwarzmann P. Thermoforming: a practical guide. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG., 2019. 495 p.

12. Gómez C., Tobalina-Baldeon D., Cavas F. et al. Geometrical optimization of thermoforming continuous fibers reinforced thermoplastics with finite element models: a case study. *Composites part B: Engineering*. 2022. Vol. 239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109950>.
13. Van de Velde K., Kiekens P. Thermoplastic polymers: overview of several properties and their consequences in flax fibre reinforced composites. *Polym Tesingt*. 2001. 20 (8). Pp. 885–893.
14. Peter W. Klein Fundamentals of Plastics Thermoforming 2009 «Springer Cham», Morgan & Claypool Publishers, 2009. 83 p.
15. Мікульнон І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. / 2-ге вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с.
16. Мікульнон І. О. Обладнання і процеси перероблення термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
17. Мікульнон І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. 324 с.
18. Радченко Л. Б. Переробка термопластів методом екструзії : монографія. Київ : ІЗМН, 1999. 220 с.

REFERENCES

1. Jiménez, J. et al. (2009). Biography of louis braille and invention of the braille alphabet: Survey of ophthalmology, 54, 1, 142–149 (in English).
2. Mayik, V. Z., Dudok, T. H., Opotiak, Yu. V., & Tymoshyk, M. A. (2011). Analiz navchalno-metodychnykh tekhnolohii, zasobiv ta prystroiv dlia inkluzyvnoi osvity: Kvalilohiia knyhy, 1 (19), 118–147 (in Ukrainian).
3. Synova, Ye. P. (2003). Reliefno-krapkove pysmo slipykh. Shryft Lui Brailia. Rozdil 1 (in Ukrainian).
4. Burchak, O. K. (2005). Osvita slipykh: yii suchasne ta maibutnie: Sotsialne partnerstvo, 10, 26–27 (in Ukrainian).
5. Maik, V. Z., Durniak, B. V., Holob, H., Bratsko, C., & Dudok, T. H. (2013). Problemy standartyzatsii shryftu Brailia pry vyhotovlenni vydan dlia nezriachykh: Polihrafiia i vydavnycha sprava, 3–4 (63–64), 68–77 (in Ukrainian).
6. Pryimenko, O. A., & Khmiliarchuk, O. I. (2013). Kompleksnyi pokaznyk yakosti pakovan ta reklamnoi produktsii, shcho vyhotovleni vakuumnym formuvanniam: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 1 (in Ukrainian).
7. Suberliak, O. V., & Bashtannyk, P. I. (1995). Tekhnolohiia vyrobnytstva vyrobiv iz plastmas i kompozytiv. Chastyna 1. Kyiv : ISDO (in Ukrainian).
8. Suberliak, O. V., & Bashtannyk, P. I. (1996). Tekhnolohiia formuvannia vyrobiv z plastmas. Chastyna 2. Tekhnolohiia formuvannia pohonazhnykh vyrobiv. Kyiv : ISDO (in Ukrainian).
9. Suberliak, O. V., & Bashtannyk, P. I. (2006). Tekhnolohiia pererobky polimernykh ta kompozytsiinykh materialiv. Kyiv (in Ukrainian).
10. Fabuliak, F. H., Ivanov, S. V., & Maslennikova, L. D. (2006). Polimerne materialoznavstvo. Kyiv : Knyzhk. vyd-vo Nats. aviats. un-tu (in Ukrainian).

11. Schwarzmann, P. (2019). Thermoforming: a practical guide. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. (in Ukrainian).
12. Gómez, C., Tobalina-Baldeon, D., & Cavas, F. et al. (2022). Geometrical optimization of thermoforming continuous fibers reinforced thermoplastics with finite element models: a case study: Composites part B: Engineering, 239 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.109950> (in English).
13. Van de Velde, K., & Kiekens, P. (2001). Thermoplastic polymers: overview of several properties and their consequences in flax fibre reinforced composites: Polym Test, 20 (8), 885–893 (in English).
14. W. Klein, P. (2009). Fundamentals of Plastics Thermoforming 2009 «Springer Cham», Morgan & Claypool Publishers (in English).
15. Mikulonok, I. O. (2020). Tekhnolohichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv / 2-he vyd., pererob. ta dopov. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho (in Ukrainian).
16. Mikulonok, I. O. (2009). Obladnannia i protsesy pereroblennia termoplastychnykh materialiv z vykorystanniam vtorynnoi syrovyny : monohrafiia. Kyiv : IVTs Vydavnytstvo «Politehnika» (in Ukrainian).
17. Mikulonok, I. O. (2017). Tekhnolohichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politehnika» (in Ukrainian).
18. Radchenko, L. B. (1999). Pererobka termoplastiv metodom ekstruzii : monohrafiia. Kyiv : IZMN (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-134-144

RESEARCH OF THE ADVANCED VACUUM FORMING TECHNOLOGICAL PROCESS FOR APPLYING RELIEF DOT IMAGES USING PVC FILMS

V. Z. Mayik¹, Jacek Kuśmierczyk², T. H. Dudok³

¹*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

²*Polish Guild of Gutenberg's Knights,
34 E, Marywilska St., Warsaw, 03-228, Poland*

³*Vlokh Institute of Physical Optics,
23, Drahomanov St., Lviv, 79005, Ukraine
vol_maik@meta.ua*

It is very important for a visually impaired person to be socialized into society, as a person receives 80-90% of information about the surrounding world with the help of vision. The development and improvement of technologies for the production of educational and methodical materials for people with vision problems is especially important, which makes it possible to ensure equal opportunities in education and

development, and also contributes to their social integration. One of the most promising technologies for the production of educational and methodological editions for people with vision problems is vacuum forming technology. The main feature of the vacuum forming technology is that the products are formed from film polymer material blanks under the influence of pressure and temperature. Under the action of applied forces and temperature, the films are formed into products and cooled. The main material for the production of educational and methodological editions and handouts in vacuum forming technology is a polymer film. Educational and methodical editions are made of light polymer materials that allow one to get relief of different levels. The polymer material of the editions allows one to create a clear outline, convey the characteristic features and details of the image. Textbooks made using polymer films are light and durable. The improved vacuum forming technological process with the use of cardboard matrices for applying the Braille font is studied. A study of the quality of applying relief dot and line images of different sizes by vacuum forming technology using different types of PVC films is conducted. The dependency of stroke height on the width of strokes on the plate, the dependency of the height of Braille elements on the diameter of the holes on the plate, graphic distortions in the plate–print system for strokes and Braille elements are studied.

Keywords: *vacuum forming technology, Braille font, relief dot images, cardboard matrix, PVC films, height of elements, width of elements, graphic distortions.*

Стаття надійшла до редакції 05.03.2023.

Received 05.03.2023.