

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**БАГЛАЙ ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ**

УДК 655.3.066.364

ДИСЕРТАЦІЯ

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ФОРМ ІНТАГЛЮДРУКУ**

186 Видавництво та поліграфія

18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Володимир БАГЛАЙ

**Науковий керівник:** Киричок Тетяна Юріївна, доктор технічних наук,  
професор.

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

*Баглай В. А.* Технологічне забезпечення якості форм інтагліодруку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 186 Видавництво та поліграфія (18 Виробництво та технології). – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання – розробленню технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку, виготовлюваних прямим лазерним гравіюванням та нанесенням захисного нітрид-хромового покриття вакуумним напиленням.

Інтагліодрук (металографічний друк) – високозахищений різновид глибокого друку, що використовується в усьому світі для захисту переважно банкотної продукції, який є обов’язковим за рекомендаціями Інтерполу. Заходи щодо підвищення якості інтагліодруку потребують і підвищення якості форм. Найсучасніший спосіб виготовлення форм інтагліодруку – технологія прямого лазерного гравіювання – має низку переваг та технологічних можливостей порівняно з традиційною технологією травлення, однак, особливості обробки матеріалів форм лазером та подальшого нанесення захисного нітрид-хромового покриття вакуумним напиленням можуть викликати зниження тиражестійкості форм порівняно із традиційними технологіями виготовлення форм. Тому технологія прямого лазерного гравіювання з вакуумним напиленням захисного нітрид-хромового покриття потребує удосконалення, а дослідження, спрямовані на підвищення якості форм інтагліодруку є актуальним науковим та прикладним завданням, розв’язання якого сприятиме підвищенню державної безпеки в галузі банкотного виробництва.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної роботи № 2212-п, № держреєстрації 0119U100984 «Теоретичні та практичні засади забезпечення якості металографічного друку».

Метою дисертаційної роботи є розроблення технологічного забезпечення якості друкарських форм інтагліодруку, виготовлених методом прямого лазерного гравіювання та вакуумного напилення захисного покриття.

Для досягнення поставленої мети в роботі, основний зміст якої викладено в чотирьох розділах, виконано низку завдань.

У розділі 1 «Забезпечення якості інтагліодруку в сучасному виробництві банкотної продукції» проведено детальний порівняльний аналіз технологічних процесів виготовлення форм інтагліодруку з погляду забезпечення якості форм та в контексті екологічної безпечності їх виробництва; розроблено модель визначення екологічної ефективності формного виробництва інтагліодруку; проведено аналіз технологічних особливостей інтагліодруку, що спричиняють руйнацію форм, розроблено систему формування тиражестійкості форм інтагліодруку; сформульовано завдання дисертаційного дослідження.

У розділі 2 «Матеріали та методи дослідження» розроблено загальний алгоритм проведення досліджень щодо підвищення якості форм інтагліодруку, обґрунтовано обрані матеріали, обладнання та методики, описано розроблені нові методики дослідження якості гравіюваних штрихів для проведення усього комплексу експериментальних та теоретичних досліджень.

У розділі 3 «Дослідження стану поверхні та приповерхневих шарів друкувальних та пробільних елементів, тиражестійкості та якості друкування форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням з напиленням захисного покриття» наведено результати досліджень зміну стану поверхні та приповерхневих шарів гравіюваних штрихів, тиражестійкості та якості друкування форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням з напиленням захисного покриття, а також проаналізовано процеси та усі види впливів в друкарській секції машин інтагліодруку, встановлено механізми зношування в друкарській системі інтагліодруку та розроблено інтегровану модель зношування форм інтагліодруку.

У розділі 4 «Удосконалений технологічний процес виготовлення форм

інтагліодруку» встановлено вплив технологічних параметрів виготовлення на параметри якості гравійованих друкувальних елементів та узагальнені показники якості гравійованих штрихів форм, виготовлених прямим лазерним гравіюванням, визначено засоби забезпечення якості форм інтагліодруку, досліджено параметри якості модельних форм, виготовлених за альтернативними технологіями, та на цій основі розроблено систему технологічного забезпечення якості друкарських форм інтагліодруку; описано низку отриманих експериментальних результатів щодо взаємозв'язку параметрів гравійованих штрихів з режимами виготовлення форм, сформульовано інтегральний коефіцієнт якості гравіювання та комплексного показника якості форм доведено, що стан поверхні штрихів є ще одним додатковим фактором забезпечення зносостійкості форм.

В результаті виконання дисертаційної роботи отримано такі нові наукові результати:

1. *Вперше* запропоновано інтегровану феноменологічну модель зношування форм інтагліодруку, яка ґрунтується на всебічному аналізі усіх видів впливу на форму на усіх етапах друкування та встановлених механізмах зношення в друкарській системі інтагліодруку, котра дозволяє встановити засоби підвищення якості форм;

2. *Вперше* розроблено модель визначення екологічної ефективності формного виробництва інтагліодруку, яка ґрунтується на детальному аналізі окремих етапів і технологічних складників процесів виготовлення форм, на основі якої доведено що запровадження технологічних процесів прямого лазерного гравіювання та вакуумного напилення захисного покриття дозволить знизити в 80–170 разів екологічні ризики порівняно з тиражними варіантами виготовлення форм.

3. *Удосконалено* феноменологічну модель формування фарбового рельєфу ІД, що із *вперше* одержаними експериментальними результатами взаємозв'язку профілів гравійованих ДЕ форм та проєктованих профілів і режимів гравіювання *вперше* дозволило встановити, що визначальним для



краплеподібної форми фарбового рельєфу є саме форма ГШ, які, незалежно від проектного профілю, завжди мають кут нахилу стінок  $60 \pm 10^\circ$ .

4. *Дістали подальшого розвитку методи комплексної багатофакторної оцінки якості поліграфічної продукції розробленням системи оцінки якості форм інтагліодруку на основі часткових показників якості гравійованих штрихів форми – інтегрального показника якості гравіювання, що разом з *вперше* розробленою системою технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку та *вперше* визначеними засобами забезпечення якості форм дозволило виявити напрями першочергових заходів щодо підвищення якості форм, що виготовляються прямим лазерним гравіюванням.*

Практичне значення одержаних результатів полягає в їх застосуванні на всіх етапах виготовлення форм інтагліодруку, зокрема для корегування робочого потоку підготовки файлів для гравіювання та прилагоджування відповідно до розробленої системи технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку. Визначені засоби забезпечення якості дозволили виявити напрями першочергових заходів – досліджень та корегування технологічного процесу виготовлення – для підвищення якості форм, що виготовляються прямим лазерним гравіюванням. Також це дозволило встановити напрямки державної політики забезпечення обладнанням спеціалізованих підприємств. Апробацію виробничих випробувань форм проведено у виробничих умовах Банкотно-монетного двору Національного банку України. Результати досліджень впроваджено у навчальний процес КПІ ім. Ігоря Сікорського під час проведення лекційних, лабораторних і практичних занять з дисциплін «Захист інформації в поліграфії», «Технології захисту друкованої продукції».

***Ключові слова:* інтагліодрук, технологічне забезпечення, друкарська форма, якість друкованої продукції, друкарська технологія, захисний елемент, пробний відбиток, рельєфне зображення, захищена поліграфічна продукція, трибологічні властивості, зносостійкість, захисне покриття, циліндр, лазерне гравіювання, вакуумне напилення.**

## ANNOTATION

*Baglai V. A.* Technological ensuring of intaglio printing plates quality. Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 186 Publishing and printing (18 Production and technologies). – National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2023.

The dissertation work is devoted to solving an actual scientific and applied task – developing technological quality assurance of intaglio printing plates produced by direct laser engraving and applying a protective nitride-chromium coating by vacuum sputtering.

Intaglio printing (metallographic printing) is a highly secured type of gravure printing used worldwide to protect mainly banknote products, which is mandatory according to the recommendations of Interpol. Measures to improve the quality of intaglio printing also demand improving the quality of plates. The most modern method of manufacturing intaglio printing plates is direct laser engraving technology which has a number of advantages and technological possibilities compared to traditional etching technology. However, the peculiarities of processing the materials of the plates with a laser and the subsequent application of a protective chromium nitride coating by vacuum sputtering (PVD) can cause a decrease in the plates' durability compared to traditional technologies of plate making. Therefore, the technology of direct laser engraving with vacuum sputtering of a protective nitride-chromium PVD coating needs improvement. Research aimed at improving the quality of intaglio printing plates is an urgent scientific and applied task. The solving of this will contribute to the increasing of state security in the field of banknote production.

The dissertation work was carried out within the framework of research work No. 2212-p, state registration No. 0119U100984 "Theoretical and practical principles of ensuring the quality of metallographic printing".

The aim of the dissertation is to develop technological quality assurance of

intaglio printing plates made by the method of direct laser engraving and vacuum sputtering of a protective coating.

To achieve the set goal in the work, the main content of which is laid out in four sections, a number of tasks were completed.

In Chapter 1 "Ensuring the quality of intaglio printing in the modern banknote production", the detailed comparative analysis of the technological processes of manufacturing intaglio printing plates is carried out from the point of view of ensuring the quality of the plates and in the context of the environmental safety of their production. The model for determining the environmental efficiency of intaglio printing plate production was developed. The analysis of the technological features of intaglio printing, which cause the deterioration of plates, was carried out, and the system for forming the run length durability of intaglio printing plates was developed. The tasks of the dissertation research have been formulated.

In Chapter 2 "Research materials and methods", a general algorithm for conducting research on improving the quality of intaglio printing plates has been developed. The materials, equipment, and methods have been chosen. The new methods of researching the quality of engraved strokes have been developed for the entire complex of experimental and theoretical research.

In Chapter 3 "Investigation of the state of the surface and surface layers of printing and blank spaces, run-length resistance and printing quality of intaglio printing plates made by direct laser engraving with vacuum sputtering of a protective coating", it was presented the results of research on changes in the state of the surface and near-surface layers of engraved strokes, run length durability, and printing quality of intaglio printing plates made by direct laser engraving with sputtered of a protective coating. The processes and all types of influences in the printing section of intaglio printing machines were analyzed. The wear mechanisms in the printing section of the intaglio printing machine were established. The integrated model of wear of intaglio printing plates has been developed.

In Chapter 4 "Improved technological process of intaglio printing plates making", the influence of manufacturing technological parameters on the quality

parameters of engraved printing elements and generalized indicators of the quality of engraved strokes of plates made by direct laser engraving are determined, the means of ensuring the quality of intaglio printing plates are determined, the quality parameters of model plates made by alternative technologies are investigated, and on this basis, the system of technological assurance of the quality of intaglio printing plates has been created. A number of obtained experimental results regarding the relationship between the parameters of engraved strokes and modes of plate making have been described. The integral coefficient of engraving quality and the complex indicator of the quality of plates have been formulated. It has been proved that the state of the surface of strokes is another additional factor in ensuring the wear resistance of plates.

As a result of the dissertation work, the following new scientific results were obtained:

1. *For the first time*, an integrated phenomenological model of wear of intaglio printing plates is proposed, which is based on a comprehensive analysis of all types of influence on the plate at all stages of printing and established wear mechanisms in the intaglio printing system, which allows establishing means of improving the quality of plates;

2. *For the first time*, a model for determining the environmental efficiency of intaglio printing plate production was developed, which is based on a detailed analysis of individual stages and technological components of the processes of plate making. Based on this it was proven that the introduction of technological processes of direct laser engraving and vacuum sputtering of a protective coating will allow for a reduction of 80–170 times environmental risks compared to mass production variants of plates.

3. The phenomenological model of the formation of the ink layer of intaglio printing was *improved*, which, together with *for the first time obtained* experimental results of the relationship between the profiles of the engraved elements of the plates and the projected profiles and modes of engraving, made it possible to establish *for the first time* that the shape of the engraved strokes is the determining factor for the drop-

like shape of the ink relief, which, regardless of the projected profile, always have an angle of inclination of the sides  $60 \pm 10^\circ$ .

4. The methods of complex multifactorial assessment of the quality of printing products were *further developed* by means of the designing of a system for assessing the quality of intaglio printing plates based on partial indicators of the quality of engraved plates' strokes - an integral indicator of the quality of engraving, which, together with *for the first time* developed system of technological assurance of the quality of intaglio printing plates and *for the first time* defined means of ensuring the quality of plates made it possible to identify directions of priority measures to improve the quality of plates produced by direct laser engraving.

The practical significance of the obtained results is in their application at all stages of the intaglio printing plates production, in particular for correcting the workflow of preparing files for engraving and adjusting in accordance with the developed system of technological ensuring of intaglio printing plates quality.

The identified means of quality assurance made it possible to identify areas of priority measures - research and correction of the manufacturing process - to improve the quality of plates produced by direct laser engraving. It also made it possible to establish the directions of the state policy of providing specialized enterprises with equipment.

Approbation of production tests of plates was carried out in the production conditions of the National Bank of Ukraine Mint. The results of the research are implemented in the educational process of KPI named after Ihor Sikorsky during lectures, laboratory, and practical classes in the disciplines "Protection of information in printing", and "Technologies of protection of printed products".

***Keywords: intaglio printing, technological assurance, printing plate, quality of printed products, printing technology, security element, imprint, relief image, protected printed products, tribological properties, wear resistance, protective coating, cylinder, laser engraving, vacuum sputtering.***

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:**

**I. Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:**

1. Руденко ЕМ, Свавільний МЄ, Киричок ТЮ, Панарін ВЄ, **Баглай ВА**, Олійник ВГ, Дякін МВ. Модифікування структури поверхні латуні Л63 після оброблення йонним розпорошенням у геліконному розряді. *Металофізика та новітні технології*. 2023;45(2):183–197. DOI: 10.15407/mfint.45.02.0183. *Здобувачем обґрунтовано необхідність забезпечення належного очищування гравійованих форм перед PVD та запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття.*

**II. Публікації у наукових фахових виданнях України:**

2. Киричок ТЮ, Герук ЯВ, **Баглай ВА**. Система формування якості друкованої сувенірної продукції банкотно-монетних дворів світу. *Технологія і техніка друкарства*. 2018;1:4–10. DOI: 10.20535/2077-7264.1(59).2018.137811. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

3. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Талімонов ЯЮ. Дослідження явища перебивання фарби на папері спеціального призначення, виготовленого за різними технологіями. *Технологія і техніка друкарства*. 2019;1(63):19–27. DOI: 10.20535/2077-7264.1(63).2019.180649. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

4. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Система формування тиражостійкості форм інтагліодруку. *Технологія і техніка друкарства*. 2019;3(65):15–24. DOI: 10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565. *Здобувачем проведено аналіз існуючих технологій виготовлення форм, проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, виокремлено фактори, що впливають на тиражестійкість.*

5. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА, Регіда ПГ. Методика автоматизованого оцінювання якості технологічної операції прямого лазерного гравіювання форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2019;4(66):31–41. DOI: 10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

6. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА. Вплив технологічних параметрів на властивості друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;3(69):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

7. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, Безпалий АА. Дослідження якості поверхні друкувальних елементів форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;4(70):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.4(70).2020.229630. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

8. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Горова ТВ, Сокол ОП, Комарницька АО, Сичик ЮВ. Аналіз відповідності фахових видань, що входять до наукометричних баз даних, предметній області спеціальності 186 Видавництво та поліграфія. Технологія і техніка друкарства. 2021;1(71):4–26. DOI: 10.20535/2077-7264.1(71).2021.239073. *Здобувачем проведено аналіз фахових видань, дотичних до виготовлення захищеної поліграфічної продукції.*

9. Киричок ТЮ, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, **Баглай ВА**, Руденко ЕМ, Талімонов ЯЮ, Новицька АЄ. Вплив технологічних режимів обробки латунної основи на якість форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2021;2(72):13–19. DOI: 10.20535/2077-7264.2(72).2021.123609. *Здобувачем визначено проблему недостатньої адгезійної міцності захисного*

покриття форм. Для забезпечення належного очищування форм перед PVD здобувачем запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття.

10. Киричок ТЮ, Коротенко ОВ, **Баглай ВА**. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну точність відбитків. Технологія і техніка друкарства. 2021;4(74):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

11. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Визначення засобів забезпечення якості форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2022;1(75):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.1(75).2022.263575. *Здобувачем узагальнено проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, виокремлено фактори, що забезпечують якість форм, сформовано домінантну ієрархію, проведено експертне оцінювання, зроблено висновки.*

### **III. Публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus:**

12. Kyrychok T, **Bahlai V**, Kyrychok A. Optical methods of banknotes sorting for Ukrainian Hryvnia: results and problems. In: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Correlation Optics (SPIE); 2020 Febr. p. 325–35. DOI:10.1117/12.2553936 (SCOPUS). *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, проведено статистичний аналіз зношування банкнот, зроблено висновки.*

13. Rudenko E, Kyrychok T, Panarin V, Svavilnyi M, Polotskyi D, Skoryk M, **Baglai V**, Talimonova N, Novytska A. Influence of helicon discharge treatment on ensuring adhesive strength of protective PVD coating CrN on brass-based forms of intaglio printing. In: Proceedings of the 15th International Conference Correlation Optics(SPIE); 2021 Sep 13–16. Chernivtsi. DOI: 10.1117/12.2615570 (SCOPUS). *Здобувачем визначено проблему забезпечення належного очищування форм перед PVD та запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття.*



#### IV. Публікації у збірниках матеріалів міжнародних конференцій:

14. **Баглай В.** Технологічні особливості виготовлення форм інтагліодруку прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції «Друкарство молоде – 2020»; 2020 7–9 квіт; Київ. с. 5–7. Доступно: <http://dm-conf.vpi.kpi.ua/2020/paper/viewFile/20729/10929>.

15. Киричок ТЮ, **Баглай ВА.** Напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2020)»; 2020 3–6 лис; Київ. с. 5–7. Доступно: <https://vpi.kpi.ua/images/pmwt-conf/zbirnyk-tez-PWM-2020.pdf> *Здобувачем проведено аналіз існуючих технологій виготовлення форм, проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, визначено напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням.*

16. **Баглай В.** Патентування інформації про технологічний процес інтагліодруку. В: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги»; 2021 25 лют; Львів. с. 206–207. Доступно: <https://pmtpr.uad.lviv.ua/wp-content/uploads/2023/06/Materialy-KK-2021.pdf>

17. Киричок ТЮ, **Баглай ВА.** Використання методу морфологічного аналізу для проектування технологічного процесу виготовлення форм інтагліодруку. В: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мульти-медійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2021)»; 2021 18–20 трав; Київ; Харків. Доступно: <https://tpv.vpi.kpi.ua/images/pwm/Tezisy-konferenciya-PMW-2021.pdf>. *Здобувачем запропоновано застосувати метод морфологічного аналізу для формування технологічного процесу.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	18
ВСТУП .....	19
РОЗДІЛ 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ІНТАГЛІОДРУКУ В СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ БАНКНОТНОЇ ПРОДУКЦІЇ	30
1.1. Інтагліодрук у системі забезпечення якості банкотної продукції	26
1.2. Порівняльний аналіз технологічних процесів виготовлення форм інтагліодруку	28
1.2.1. Виготовлення хромованих нікелевих форм інтагліодруку.	31
1.2.2. Виготовлення форм інтагліодруку прямим лазерним гравіюванням.	34
1.2.3. Нанесення захисного покриття магнетронним розпиленням.	36
1.3. Виробництво форм інтагліодруку в контексті екологічної безпеки: визначення потенційної шкідливості етапів технологічного процесу варіантів виготовлення форм	39
1.4. Технічні вимоги до якості форм.	46
1.4.1. Організація контролю технологічного процесу виготовлення форм інтагліодруку.	46
1.4.2. Можливі дефекти форм, причини їх виникнення і методи усунення	46
1.5. Особливості інтагліодруку, що можуть спричиняти руйнацію форм.	48
1.6. Система формування тиражостійкості форм інтагліодруку.	49
1.7. Технічні вимоги до матеріалу форм, отримуваних лазерним гравіюванням	53
1.8. Аналіз застосування загальних підходів до зношування деталей і вузлів поліграфічного устаткування.	54

Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження	56
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.	62
2.1. Загальний алгоритм проведення досліджень.	58
2.2. Матеріали, що використано в дослідженнях	59
2.2.1. Матеріали для виготовлення модельних форм.	59
2.2.2. Матеріали для друкування пробного накладу	60
2.3. Основне технологічне обладнання, використане в дослідженнях	61
2.4. Методика виготовлення модельних форм.	61
2.4.1. Базовий технологічний процес виготовлення модельних форм. Модельна форма 1 - повнорозмірна (формат 850x860 мм).	61
2.4.2. Модельна форма 2.	63
2.4.3. Модельна форма 3	65
2.5. Методика оброблення поверхні пробільних елементів модифікованим джерелом плазми.	68
2.6. Методика досліджень якості гравійованих штрихів.	69
2.6. 1. Методика підготовки та дослідження металографічних шліфів	69
2.6.2. Методика оптичних досліджень якості гравійованих штрихів та фарбових відбитків інтагліодруку	72
2.6.3. Методика профілометричних досліджень якості гравійованих штрихів	72
2.6.4. Методика електронно-мікроскопічних досліджень якості гравійованих штрихів	73
2.6.5. Розроблення алгоритму і методики автоматизованого оцінювання геометричних параметрів гравійованих штрихів	73
2.6.6. Методика експертного оцінювання якості поверхні гравійованих штрихів	77

2.7. Методика дослідження адгезійної стійкості захисного покриття.	77
Висновки до розділу 2	79
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНІ ТА ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДРУКУВАЛЬНИХ ТА ПРОБІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТИРАЖЕСТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ ДРУКУВАННЯ ФОРМ ІНТАГЛІОДРУКУ, ВИГОТОВЛЕНИХ ПРЯМИМ ЛАЗЕРНИМ ГРАВІЮВАННЯМ З НАПИЛЕННЯМ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ	84
3.1. Випробування повнорозмірних форм інтагліодруку у виробничих умовах.	80
3.2. Дослідження стану поверхні та приповерхневих шарів друкувальних і пробільних елементів форм інтагліодруку	83
3.3. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну та градаційну точність відбитків	91
3.4. Інтегральна феноменологічна модель формування зношеності форм інтагліодруку	97
3.4.1. Визначення силових впливів та процесів тертя в друкарській секції машин інтагліодруку	98
3.4.2. Встановлення механізмів зношення в друкарській системі інтагліодруку та порушення адгезійної стійкості захисного покриття.	106
Висновки до розділу 3	110
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ ІНТАГЛІОДРУКУ	116
4.1. Визначення засобів забезпечення якості форм інтагліодруку	112
4.2. Дослідження якості гравіювання зразків форм інтагліодруку	116
4.2.1. Дослідження відповідності профілю гравіюваних штрихів форми запроектованим	117

4.2.2. Дослідження якості поверхні гравійованих штрихів форми після DLE	124
4.3. Дослідження альтернативних технологій забезпечення якості форм інтагліодруку - порівняльний аналіз якості друкарських елементів, гравійованих із застосуванням обладнання Jura DLE та Piranha μ Pico (модельна форма 3).	128
4.3.1. Дослідження форми штрихів	129
4.3.2. Взаємозв'язок форми фарбового рельєфу інтагліодруку та гравійованих штрихів форм інтагліодруку	135
4.3.3. Дослідження розмірів штрихів	136
4.2.4. Якість поверхні гравійованих штрихів	137
4.4. Дослідження якості захисного покриття PVD	142
4.5. Експериментальні результати іонно-плазмового оброблення пробільних елементів форм із застосуванням геліконного розряду	145
4.6. Система технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку	149
4.6.1. Формування узагальнених показників якості гравійованих штрихів форм, виготовлених DLE.	149
4.6.2. Визначення комплексного показника якості форм DLE+ PVD	155
Висновки по розділу 4	158
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	165
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	169
ДОДАТКИ	
Додаток А. Список праць здобувача	183
Додаток Б. Акт впровадження в навчальний процес.	187
Додаток В. Параметри запроектованих профілів штрихів плашок модельної форми	188

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БМД НБУ – Банкотно-монетний двір Національного банку України

ГШ – гравійований штрих

ДЕ – друкувальний елемент

ДК – друкарський контакт

ДФІ – форма інтагліодруку

ДЦ – друкарський циліндр

ЗП – захисне покриття

ІД – інтагліодрук

МАІ – метод аналізу ієрархій

МФ – модельна форма

НН ВПІ – Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут

ПЕ – пробільний елемент

СВ – стиральний вал

ТП – технологічний процес

ФЦ – формний циліндр

DLE – Direct Laser Engraving = пряме лазерне гравіювання (ПЛГ)

DLE+PVD – Direct Laser Engraving+ Physical Vapor Deposition = пряме лазерне гравіювання (ПЛГ)+вакуумне напилення (ВН) (магнетронне розпилення (МР))

KBA – Koenig & Bauer Banknote Solutions

PVD – Physical Vapor Deposition = вакуумне напилення (ВН)

= магнетронне розпилення (МР)

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Інтагліодрук (ІД), чи металографічний друк – високозахищений різновид глибокого друку, що використовується в усьому світі для захисту переважно банкотної продукції. За допомогою ІД отримують відбитки великої рельєфності за рахунок перенесення густих пастоподібних фарб на восковій основі із гравійованих штрихів (ГШ) друкарських форм інтагліодруку (ДФІ) на папір під дією надзвичайно великого тиску у друкарському контакті (ДК) між формним циліндром (ФЦ) і друкарським циліндром (ДЦ) [18–20].

За рекомендаціями Інтерполу [21, 22], ІД є обов’язковим методом захисту для всієї банкотної продукції, причому з обох боків банкноти. Держави світу переважно дотримуються цих рекомендацій – дві третини держав виготовлюють банкноти з двобічним задруковуванням ІД, третина – з однобічним ІД [23]. До останніх належить і Україна [12].

За даними фахівців [48], на банкотному виробництві на Банкотно-монетному дворі Національного банку України (БМД НБУ) в Україні невідповідна якість ІД переважає всі інші причини відбракування і становить понад 21 %. Тому заходи щодо підвищення якості ІД є надзвичайно актуальними. Такі заходи, на думку науковців та представників *КВА* (зараз *Koenig & Bauer Banknote Solutions*) [49], якість ІД визначається трьома головними чинниками: 1) якістю ДФІ; 2) дотриманням балансу між тиском у ДК і властивостями фарби; 3) процесом стирання фарби з пробільних елементів (ПЕ). Причому, автори [49] підкреслюють, що властивості ДФІ є найважливішим фактором для оптимізації фарбоперенесення і закріплення фарби на відбитку.

Найсучасніший спосіб виготовлення ДФІ – технологія прямого лазерного гравіювання (Direct Laser Engraving, DLE). Технологія DLE має низку переваг та технологічних можливостей порівняно з традиційною технологією травлення. Однак, особливості обробки матеріалів форм лазером та подальшого нанесення захисного покриття (ЗП) нітриду хрому вакуумним

напиленням (Physical Vapor Deposition (PVD), чи магнетронне розпилення (MP)) можуть викликати зниження тиражестійкості форм порівняно із традиційними технологіями. Технологія DLE з подальшим нанесенням ЗП нітриду хрому за допомогою PVD (технологія DLE+PVD), яка є екоефективною, потребує удосконалення режимів гравіювання, оброблення форм після видалення напливів та режимів PVD [10].

Отже, дослідження, спрямовані на підвищення якості ДФІ є актуальним науковим та прикладним завданням, розв'язання якого сприятиме вирішенню завдань державної безпеки в галузі банкотного виробництва.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота пов'язана з тематичним напрямом наукової групи «Технологічне забезпечення якості захищеної від підроблення поліграфічної продукції» кафедри технології поліграфічного виробництва Навчально-наукового видавничо-поліграфічного інституту (НН ВПІ) і виконувалася в рамках науково-дослідної роботи № 2212-п, № держреєстрації 0119U100984 «Теоретичні та практичні засади забезпечення якості металографічного друку», під час виконання якої здобувачем проведено аналіз сучасного стану та проблем ІД, зокрема особливостей ІД, конструктивних особливостей машин ІД; проведено аналіз впливу технологічних параметрів ІД на утворення рельєфу поверхні у захищеній продукції; встановлено оптимальні параметри ДФІ для виготовлення сувенірної продукції банкотно-монетних дворів, виготовленої інтагліодруком та офсетним друком, запропоновано засоби цілеспрямованого керування якістю ІД.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення технологічного забезпечення якості друкарських форм інтагліодруку, виготовлених методом прямого лазерного гравіювання та вакуумного напилення захисного покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Провести порівняльний аналіз технологічних процесів виготовлення ДФІ з погляду забезпечення якості форм та в контексті



екологічної безпечності їх виробництва; провести аналіз технологічних особливостей інтагліодруку ІД, що спричиняють руйнацію форм, розробити систему формування тиражостійкості ДФІ;

2. Дослідити зміну стану поверхні та приповерхневих шарів друкарських елементів (ДЕ) та ПЕ, тиражестійкості та якості друкування ДФІ, виготовлених прямим лазерним гравіюванням з напиленням захисного покриття за технологією DLE+PVD;

3. Проаналізувати процеси та усі види впливів в друкарській секції машин ІД, встановити механізми зношення в друкарській системі ІД та розробити інтегровану модель зношування ДФІ;

4. Встановити вплив технологічних параметрів виготовлення на параметри якості гравіюваних ДЕ та узагальнені показники якості ГШ форм, виготовлених DLE;

5. Визначити засоби забезпечення якості ДФІ, дослідити параметри якості ДЕ, виготовлених за альтернативними технологіями та на цій основі розробити систему технологічного забезпечення якості ДФІ.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес виготовлення друкарських форм інтагліодруку методом прямого лазерного гравіювання та вакуумного напилення захисного покриття.

**Предметом дослідження** є параметри друкарських форм інтагліодруку, гравіюваних штрихів форм та засоби забезпечення їх якості.

**Методи дослідження.** Застосовано теоретичні та практичні дослідження процесів в друкарській системі ІД у виробничих умовах. Встановлення показників якості ДФІ та їх ДЕ проведено на основі сукупності методів – металографії, оптичних, електронно-мікроскопічних, профілометричних, органолептичних досліджень, методів комп'ютерного бачення, багатофакторного оцінювання. Якість відбитків ІД встановлено із застосуванням оптичної мікроскопії, та профілометрії. Визначення засобів забезпечення якості ДФІ здійснено за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI). Для дослідження процесів, які впливають на форму в друкарській секції

ІД, застосовано методи феноменологічного моделювання. Опрацювання експериментальних даних та перевірка їх достовірності здійснена за допомогою методів математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що в дисертаційній роботі:

1. *Вперше* запропоновано інтегровану феноменологічну модель зношування ДФІ, яка ґрунтується на всебічному аналізі усіх видів впливу на форму на усіх етапах друкування та встановлених механізмах зношення в друкарській системі ІД, котра дозволяє встановити засоби підвищення якості форм;

2. *Вперше* розроблено модель визначення екологічної ефективності формного виробництва ІД, яка ґрунтується на детальному аналізі окремих етапів і технологічних складників процесів виготовлення форм, на основі якої доведено що впровадження технологічних процесів прямого лазерного гравіювання та вакуумного напилення захисного покриття дозволить знизити в 80–170 разів екологічні ризики порівняно з тиражними варіантами виготовлення форм.

3. *Удосконалено* феноменологічну модель формування фарбового рельєфу ІД, що із *вперше* одержаними експериментальними результатами взаємозв'язку профілів гравійованих ДЕ форм та проєктованих профілів і режимів гравіювання *вперше* дозволило встановити, що визначальним для краплеподібної форми фарбового рельєфу є саме форма ГШ, які, незалежно від проєктованого профілю, завжди мають кут нахилу стінок  $60 \pm 10^\circ$ .

4. *Дістали подальшого розвитку* методи комплексної багатофакторної оцінки якості поліграфічної продукції розробленням системи оцінки якості ДФІ на основі часткових показників якості ГШ форми – інтегрального показника якості гравіювання, що разом з *вперше* розробленою системою технологічного забезпечення якості ДФІ та *вперше* визначеними засобами забезпечення якості форм дозволило виявити напрями першочергових заходів щодо підвищення якості форм, що

виготовляються прямим лазерним гравіюванням.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в їх застосуванні на всіх етапах виготовлення ДФІ, зокрема для корегування робочого потоку підготовки файлів для гравіювання та прилагоджування відповідно до розробленої системи технологічного забезпечення якості ДФІ.

Визначені засоби забезпечення якості ДФІ дозволили виявити напрями першочергових заходів (досліджень та корегування технологічного процесу виготовлення) для підвищення якості форм, що виготовляються прямим лазерним гравіюванням. Також це дозволило встановити напрямки державної політики забезпечення обладнанням спеціалізованих підприємств.

Практичне значення мають розроблені методики оцінювання якості штрихів з використанням підходів комп'ютерного бачення.

Виробничі випробування проведено в умовах спеціалізованого виробництва БМД НБУ.

Результати досліджень впроваджено у навчальний процес НН ВПІ під час проведення лекційних, лабораторних і практичних занять з навчальних дисциплін «Технології захисту друкованої продукції» та «Захист інформації в поліграфії». Ці впровадження підтверджено відповідними документами.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Всі представлені наукові результати, приклади та експериментальні розрахунки, викладені у дисертації, одержані здобувачем одноосібно. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, в дисертаційній роботі використані лише ті результати, які становлять індивідуальний внесок автора. Співавторами наукових праць є науковий керівник, а також науковці, спільно з якими проводилися дослідження. В переважній більшості робіт, опублікованих у співавторстві, здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, узагальнено результати, зроблено висновки.

У наукових роботах зі співавторами здобувачем: визначено та обґрунтовано проблему недостатньої адгезійної міцності захисного покриття

форм, для забезпечення належного очищування гравійованих форм у PVD, запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття і використати особливості геліконного розряду [1, 9, 13]; сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, узагальнено результати, зроблено висновки [2, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 17]; проведено аналіз існуючих технологій виготовлення форм, проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, визначено напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтаглідруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням [4, 15]; проведено аналіз фахових видань з виготовлення захищеної поліграфічної продукції [8].

Постановка мети та завдань дисертаційної роботи проведена разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на семи наукових конференціях та опубліковані в їх тезах і матеріалах: The 14th International Conference Correlation Optics 2019, SPIE, Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, September 16–19, 2019; The 15th International Conference Correlation Optics 2021, SPIE, Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, September 13–16, 2021; XX Міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «Друкарство молоде», Україна, м. Київ, Видавничо-поліграфічний інститут КПІ ім. Ігоря Сікорського, 7–9 квітня 2020 р.; V Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2020)», Україна, м. Київ, Видавничо-поліграфічний інститут КПІ ім. Ігоря Сікорського, 3–6 листопада 2020 р.; IV Міжнародній науково-практичній інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги», Україна, Львів: УАД, 25 лютого 2021 р.; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2021)», Україна, м. Харків, ХНУРЕ, 18–20 травня 2021 р.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць: 1 публікація у періодичному виданні, що входить до міжнародних

наукометричних баз Scopus; 10 публікацій у наукових фахових виданнях України; 2 публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus; 4 публікації у матеріалах і тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 163 найменувань та 3 додатки. Загальний обсяг роботи – 189 сторінок, 164 з яких – основний текст. У дисертації 64 рисунки та 23 таблиці.

## **РОЗДІЛ 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ІНТАГЛІОДРУКУ В СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ БАНКНОТНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

### **1.1. Інтагліодрук у системі забезпечення якості банкотної продукції.**

З моменту свого першого застосування на цінних паперах наприкінці XVII ст. [2, 24] ІД не втрачає своїх позицій у банкнотному виробництві, на відміну від багатьох інших елементів захисту, які мають відносно невеликий життєвий цикл [25]. Причинами такого тривалого життєвого циклу цієї захисної ознаки є не лише високі художні властивості продукції, виготовленої ІД [2], але й унікальні захисні властивості:

- висока розпізнаваність ІД широким загалом [24], оскільки цей вид друку забезпечує високу тактильність продукції, підвищуючи тактильні відчуття від банкнотного паперу [26]. Висота фарбового рельєфу на тиражній продукції становить 20–100 мкм, тоді як максимально отримані товщини фарбового шару на презентаційній банкноті «Амербах» (Amerbach) фірми КВА становить локально до 320 мкм [27];

- задля запобігання фальшивомонетництву, обладнання для ІД постачається лише вповноваженим державами виробникам банкотної продукції, а всі поставки перебувають під контролем Інтерполу [21, 22, 28]. За даними [29], найбільшим світовим виробником (оцінка – 90 % світового ринку) обладнання і розробником технологій захисту є КВА – Koenig & Bauer Banknote Solutions (раніше КВА-GIORI, De la Rue Giori, КВА Notasys), Швейцарія. Невеликий відсоток обладнання виробляє японська компанія Komori, яка постачає спеціалізоване друкарське устаткування Національному поліграфічному бюро Японії, державним компаніям Кореї, Китаю, Філіппін, Індії, Індонезії, Нігерії, В'єтнаму тощо, а також уповноваженим державами комерційним компаніям (De la Rue і Crane) [28]. Ця особливість відображається і в тенденціях патентування, зокрема, про технологічний процес інтагліодруку [16]. Іншими виробниками машин інтагліодруку є Goebel [30], Nanjing Mint (Китай) [28];

- традиційні методи і дизайн зображень ІД постійно удосконалюються: додаються нові властивості фарб (магнітні, ІЧ, УФ, OVI) [33–37];
- застосовуються комбінації звичайного ІД та безфарбового тиснення інтагліодруком як самостійно, так і у комбінації з іншими видами друку (трафаретним друком, тисненням голографічною фольгою тощо) [33, 38, 39];
- досконале підроблення ІД з використанням комерційних друкарських засобів практично неможливе і достатньо легко розпізнаване [31, 32, 40–42].

До особливостей ІД, порівняно з суто глибоким друком належать: 1) переважно штриховий, а не растровий характер ДЕ [43]; 2) застосування гравійованих друкарських форм, а не циліндрів [19]; 3) нагрівання вузлів машин ІД і, як наслідок, фарб під час потрапляння їх на ці вузли. Як зазначено [20, 44], на шляху до ФЦ температура фарби поступово підвищується: 17–21 °С у фарбових ящиках, близько 34 °С на шаблонних валах, 36 °С на збірному валі, 80–82 °С на ФЦ; 4) використання густих фарб на основі органічних розчинників – восків, котрі змінюють реологічні властивості під дією нагрівання та після виходу з ДК [20], що забезпечує як фарбоперенесення з ГШ на папір, та і швидке закріплення фарбового шару на поверхні паперу без додаткового сушіння [19]; 5) застосування надзвичайно високого тиску у зоні ДК. Тиск між ФЦ і ДЦ, за різними оцінками становить від 10 МПа [45] до 265 МПа [46], а лінійне навантаження становить до 1000 кН/м [30]. Такий високий тиск спричиняє каландрувальний ефект на папері [19, 20, 30], проступання тиснутого зображення на зворот [19, 47]. Крім того, тиск прикладається багаторазово (20–30 раз на хвилину, залежно від швидкості друкування), що спричиняє поступове зношування форми.

Важливо забезпечити якість ДФІ як з погляду їх тиражестійкості, так і з погляду забезпечення оптимального рівня фарбоперенесення, коли дотримана графічна точність відбитків ІД, яка максимально відповідає запроектованому профілю, що в подальшому забезпечить їх належні тактильні властивості [50]. Автори [50] зазначили, що для високої якості ІД важливо цілеспрямовано керувати не лише балансом тиску і реологічних властивостей фарби, але й

дизайном та виготовленням форми в процесі додрукарської підготовки. Однак, ГШ форми мають глибину та ширину, які задаються під час розроблення дизайну банкнот і не можуть варіюватися. Тому задля кращого фарбоперенесення та високої якості друку необхідно варіювати такі технологічні фактори, як геометрична форма ГШ (кут нахилу стінок штрихів, зокрема), а також якість їх поверхні, шорсткість якої, з одного боку, не перешкоджала б перенесенню фарби на задруковуваний матеріал, з іншого – забезпечувала б утримання належного об'єму фарби від моменту стирання її стиральним валом (СВ) і до входження в ДК.

Важливість забезпечення якості ДФІ пояснює велику частку патентів, присвячених саме цьому питанню серед усіх інших напрямків патентування щодо ІД. Ця тенденція, яка зберігається протягом останніх 30 років, буде досліджена нами детально далі.

## **1.2. Порівняльний аналіз технологічних процесів виготовлення форм інтагліодруку**

Вперше запатентована принципова автоматизована система друкування ІД наприкінці ХІХ ст. [16, 51]. Технологічними варіантами процесу виготовлення ДФІ, які застосовуються останні десятиліття на підприємствах з виготовлення захищеної від підроблення продукції, є [14, 52]:

1. Виготовлення хромованих нікелевих форм ІД з одиничного оригіналу (традиційна технологія, оригінал – часто фізичний оригінальний виріб)), збірних матриць, широкого використання процесів травлення (для виготовлення одиничного оригіналу) і багаторазової гальванопластики (мідної матриці, нікелевої контрматриці і нікелевої форми, хромованого ЗП), вперше запатентоване в той же період, що й принципи інтагліодрукування [2, 14, 16, 53]. Відтоді ця технологія постійно удосконалювалася, принципово не змінюючись [14, 16, 54, 55]. Такий процес був базовим для усіх подальших розробок провідних виробників спеціалізованого друкарського обладнання [16, 56, 57] і буде розглянутий нами далі детально;



2. Виготовлення хромованих нікелевих ДФІ з суцільного полімерного оригіналу – контрматриці, отриманого лазерним гравіюванням. Ця технологія розроблена і зареєстрована найбільшим виробником обладнання для виготовлення захищеної поліграфічної продукції Koenig & Bauer Banknote Solutions SA як торгівельна марка під назвою CTIP one COMPUTER TO INTAGLIO PLATE (2008 р., подання 2003 р.) і запатентована [58, 59]. З 2002 по 2015 роки подано заявки і видано патенти щодо цієї технології в понад 30 країнах, в тому числі і в Україні [60], що свідчить про надзвичайно широке її використання. Оригінал виготовлюється як файл даних, переважно, як комп'ютерне оброблення художньої гравюри з подальшим реплікуванням, визначенням глибини та форми штрихів [61]. Гальванопластика застосовується для виготовлення нікелевої форми і хромування. Під час застосування цього способу виготовлення оригіналу вдається виключити з технологічного процесу найскладніший та найбільш трудомісткий процес – ручне гравіювання оригіналу, що крім того суттєво знижує небезпеку незворотної втрати оригіналу, про яку зазначено в [62];

3. Виготовлення форм за допомогою ПЛГ основи (сплави цинку) з подальшим нанесенням захисного хромового покриття за допомогою гальванопластики. Оригінал – файл даних, підготовлений за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для здійснення лазерного оброблення. Гальванопластика застосовується для захисного хромування. Таке отримання форми (чи оригіналу) за допомогою багаторазового проходження інструменту (механічного, чи лазерного випромінювання) постало на часі наприкінці XX – початку XXI ст. як результат одночасних розробок декількох виробників – Giesecke and Devrient GmbH [63]; Банку Австрії (Oesterreichische Banknoten U S) [64, 65], KBA Giory/Notasys SA [66]. Найактивніше впроваджує концепцію, обладнання та програмне забезпечення Direct Laser Engraver® (DLE) розробник JURA в співробітництві з провідним виробником банкотної продукції Oesterreichische Banknoten- und Sicherheitsdruckerei GmbH (OeBS) – підрозділом Австрійського державного

банку [67], де свого часу було встановлено і протестовано для подальших впроваджень першу систему Direct Laser Engraver® (DLE) – Direct Laser Engraver® (DLE), яка була і досі випускається як повністю автоматизована цифрова система комп'ютер-система виготовлення ДФІ. Перші банкноти з гравіюванням DLE увійшли в обіг в 2006 році [67];

4. Виготовлення форм за допомогою DLE матриці на основі латуні і багаторазової гальванопластики (нікелевої контрматриці і нікелевої форми, хромованого захисного покриття). Оригінал – файл даних, підготовлений за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для здійснення лазерного оброблення. Варто зазначити, що такий технологічний процес застосовується для тиражного виробництва в Україні і є сучасним, поширеним за кордоном [68], хоча ці розробники не відкидають і можливості використання як оригіналу пластику;

5. Виготовлення форм за допомогою DLE матриці на основі латуні і гальванопластики нікелевої контрматриці і нікелевої форми. Оригінал – файл даних, підготовлений за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для здійснення лазерного оброблення. ЗП нітриду хрому наноситься за допомогою PVD розпиленням хромової мішені в атмосфері азоту.

6. Виготовлення форм за допомогою DLE форми на основі латуні. Оригінал – файл даних, підготовлений за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для здійснення лазерного оброблення. ЗП нітриду хрому наноситься за допомогою PVD розпиленням хромової мішені в атмосфері азоту. Цей варіант технологічного процесу, який є найменш тривалим та найбільш екологічно безпечним потребує додаткових досліджень задля забезпечення високої якості форм.

Таким чином, удосконалення технологічного процесу виготовлення ДФІ відбувається по таких напрямках, які відповідають окремим технологічним блокам:

1. Перехід від ручного гравіювання і травлення одиничного оригіналу до комп'ютерного оброблення і створення повноформатного (такого, що відповідає параметрам формного циліндру) оригіналу з комп'ютерною обробкою даних;

2. Спосіб отримання контрматриці;

3. Спосіб і матеріал отримання гравійованої форми;

4. Спосіб і матеріал нанесення ЗП.

### **1.2.1. Виготовлення хромованих нікелевих форм інтагліодруку.**

Відповідно до розроблених в 90-х роках ХХ ст. під час заснування банкнотного виробництва незалежної України виготовлення хромованих нікелевих ДФІ, призначених для друкування на машинах Супер-Орлов-Інтагліо, відбувалося з використанням багатоетапних ТП. Загальна схема ТП, в цілому, відповідає тій, яка наведена в роботі [69], але з окремими уточненнями ( рис. 1.1 ). Її основними етапами традиційно були [2, 58, 59, 69]:

I. Розроблення та виготовлення оригіналу (фізичного чи (пізніше) файлу даних): ручне гравіювання; хімічне травлення; виготовлення одиничного пластикового оригіналу-матриці;

II. Виготовлення збірної пластмасової матриці;

III Гальванопластичне формування нікелевої формної пластини: виготовлення мідної матриці зі збірної пластмасової матриці; виготовлення нікелевої контрматриці з мідної матриці; виготовлення нікелевої формної пластини з нікелевої контрматриці; шліфування формної пластини.

IV. Нанесення захисного хромового покриття.

1. Електролітичне хромування формної пластини.

2. Заключна обробка формної пластини.

Контроль фізико-механічних властивостей і параметрів формних напівфабрикатів та формних пластин, а також (за потреби) ретушування відбувалися після кожного технологічного етапу.

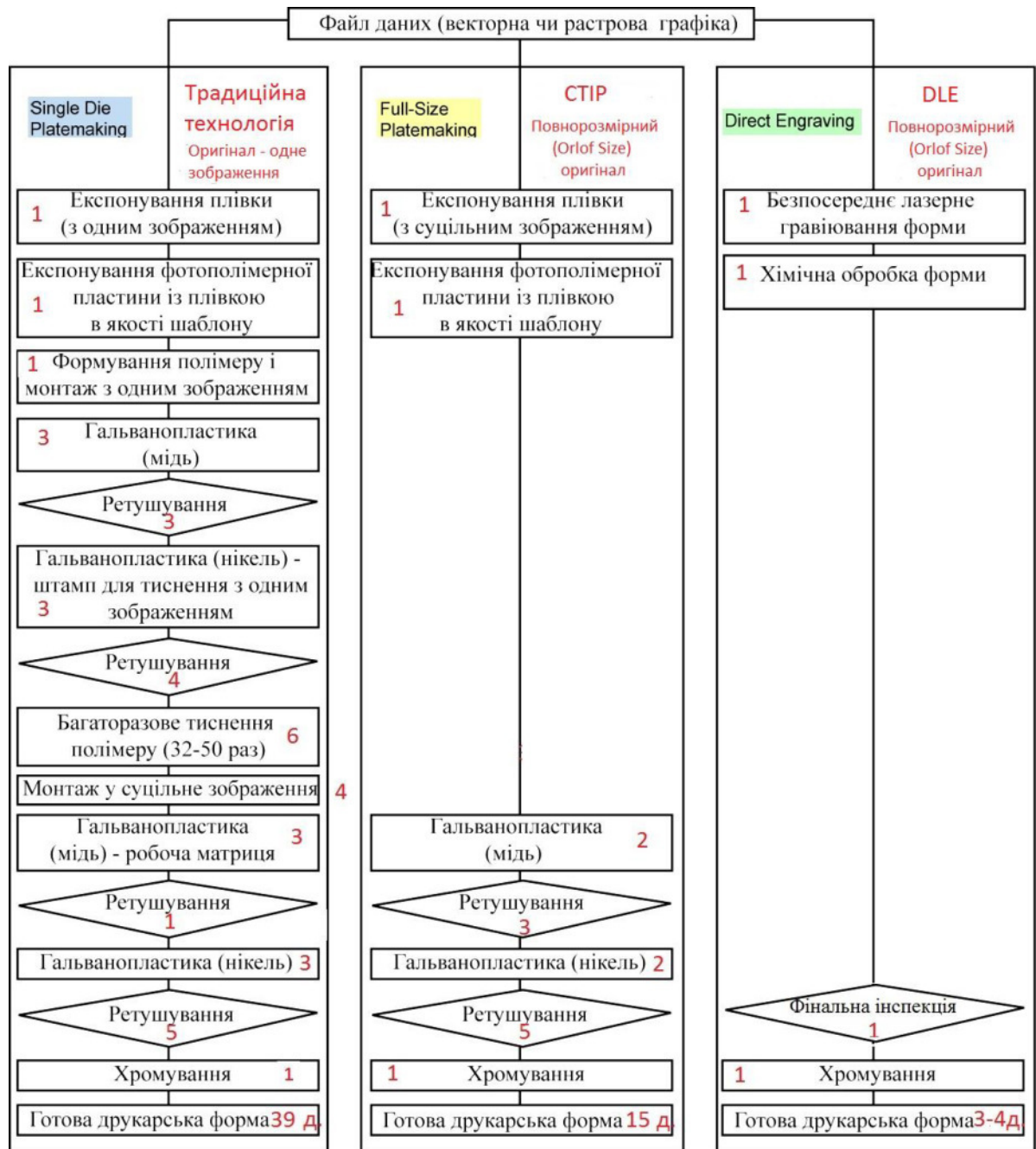


Рис. 1.1. Тривалість етапів виготовлення ДФІ за різними технологічними процесами [69].

Процес виготовлення збірної пластмасової матриці складався з таких етапів: підготовки оригінала до матрицювання; пресування одиничних матриць; розкладки одиничних матриць; порізки одиничних матриць по горизонталі; зварювання матриць у вертикальних рядах; порізки по ширині та монтажу вертикальних рядів; зварювання вертикальних рядів; підготовки збірної матриці до гальванопластики. Подібна технологія описана [69] (рис. 1.1), де тривалість процесу виготовлення однієї форми оцінена як 48 днів.

*Процес виготовлення мідної матриці* (рис. 1.1) складається з таких етапів: сріблення збірної пластмасової матриці; підготовки гальванічної ванни міднення до роботи; гальванопластичного міднення пластмасової матриці; розмітки мідної матриці; викінчування поверхні мідної матриці. Загальний час, потрібний для отримання мідної матриці товщиною 1500 мкм електролітичним мідненням, становить 42–43 год.

*Процес виготовлення нікелевої контрматриці з мідної матриці* складається з таких етапів: підготовки мідної матриці до нікелювання; нанесення розділювального шару; підготовки гальванічної ванни нікелювання до роботи; гальванопластичного нікелювання мідної матриці; викінчування нікелевої контрматриці.

Загальний час, потрібний для отримання нікелевої контрматриці товщиною 1400 мкм гальванопластичним нікелюванням мідної матриці, становить 18-19 год. Викінчування нікелевої контрматриці проводиться ручним шліфуванням.

*Процес виготовлення нікелевої формної пластини з нікелевої контрматриці* складається з таких етапів: нанесення розділювального шару; підготовки ванни нікелювання до роботи; гальванопластичного нікелювання нікелевої контрматриці. Загальний час отримання нікелевої форми товщиною 900 мкм гальванопластичним нікелюванням нікелевої контрматриці, становить біля 15 год. Нікель (II) сульфаміновокислий електроліт використовується для отримання особливо міцних гальванічних покриттів на поверхню прес-форм та матриць для штампування деталей будь-якої складності. Електролітне покриття виробів нікелем забезпечує високу міцність, довговічність, стійкість до агресивних середовищ, до високих і низьких температур, а також до радіаційного випромінювання [70].

*Процес шліфування формної пластини* містить етапи: підготовка формної пластини до шліфування; налаштування шліфувального верстата для забезпечення точності шліфування пластин по товщині у межах  $\pm 0,005$  мм; шліфування нікелевої пластини до заданої товщини. Шліфування звороту

нікелевої пластини до заданої товщини проводиться поетапно: 1) до вирівнювання по товщині; 2) до товщини  $(0,79 \pm 0,01)$  мм; 3) чистове шліфування до товщини пластини  $(0,76 \pm 0,005)$  мм, потім  $(0,75 \pm 0,005)$  мм і остаточно –  $(0,745 \pm 0,005)$  мм.

*Процес хромування нікелевої форми* складається з таких етапів: підготовки друкарської форми до хромування (полірування до блиску всієї лицьової поверхні друкарської форми – поверхня має бути рівною, блискучою, без заломів і деформацій поблизу друкарських елементів); електролітичного знежирення нікелевої друкарської форми (до стану, коли поверхня пластини повністю змочується водою); підготовки ванни хромування до роботи; нанесення хромового покриття на поверхню нікелевої друкарської форми; видалення неякісного хромового покриття з поверхні друкарської форми.

Нанесення хромового покриття на поверхню нікелевої друкарської форми є екологічно найшкідливішим етапом виготовлення форм: для нейтралізування та декапіювання поверхні формної пластини використовують 10%-й розчин сірчаної кислоти та хромовий ангідрид.

Заключна обробка формної пластини полягає в її поліруванні повстятим полірувальним кругом та перфоруванні клапанного і хвостового кінця формної пластини.

### **1.2.2. Виготовлення ДФІ прямим лазерним гравіюванням.**

Технологія DLE завдяки низці переваг швидко стала, поряд із СТІР, панівною технологією виготовлення форм [14, 16]. Такими перевагами є:

- суттєво менший, порівняно з іншими технологіями, час виготовлення форми – 3–4 дні (рис. 1.1, [64, 69, 71], тоді як СТІР – 15 днів, традиційна технологія – 39 днів. У авторів [64, 69, 71] тривалість традиційної технології оцінено навіть 48 днів, однак – це з урахуванням необхідності виготовлення комплекту з 3-х форм, а така необхідність є в усіх технологіях;

- набагато менший негативний вплив на довкілля, оскільки в традиційних уже тепер видах DLE немає двох етапів нікелювання, все ж наявна гальванічна операція хромування;

- висока якість гравіювання як тонких (від 10 мкм), так і глибоких (до 300 мкм) штрихів [69];
- використання і створення новітніх методів захисту завдяки підвищенню ступеню контрольованості параметрів гравіюваних штрихів (профілю, товщини та глибини гравіювання, які можуть змінюватися в межах одного штриха);
- створення справді тривимірних структур (асиметричних профілів ліній, варіації глибини лінії незалежно від ширини лінії тощо), що дозволяє подолати обмеження традиційних технологій і забезпечує нові можливості для дизайнерів та розробників системи захисту [69];
- надзвичайно важливою є також змога, на відміну від традиційних багатоетапних технологій виготовлення форм, гравіювати крайову частину банкнот і задруковувати її ІД, оскільки саме на крайових частинах розміщують позначки для людей з обмеженням зору [39].

На рис. 1.2 наведено схему поетапного оброблення латунної пластини під час її оброблення лазерним променем, представлену в одному з ключових патентів щодо DLE [66]: гравіювання виконується за допомогою імпульсної обробки лазерним променем, створюваного імпульсним лазерним пристроєм на основі твердотілого алюмо-ітрієвого граната, легованого неодимом Nd-YAG. Пластина, що гравіюється, встановлюється в пристрої на платформі, здатній рухатися вздовж двох декартових осей. Її переміщення, а також вертикальне переміщення відносно платформи, потужність випромінювання та фокусування оптичної системи лазерного пристрою керується комп'ютером. Оптична система використовується для спрямування лазерного променя на фокальні лінзи, які концентрують лазерний промінь у потрібній точці в межах певної області гравіювання. Таким чином за один прохід гравіюється ділянка глибиною 10–15 мкм.

Така технологія дозволяє отримувати профілі 2D і 3D профілі ГШ різної форми, якої вимагають завдання захисту та дизайн [72].

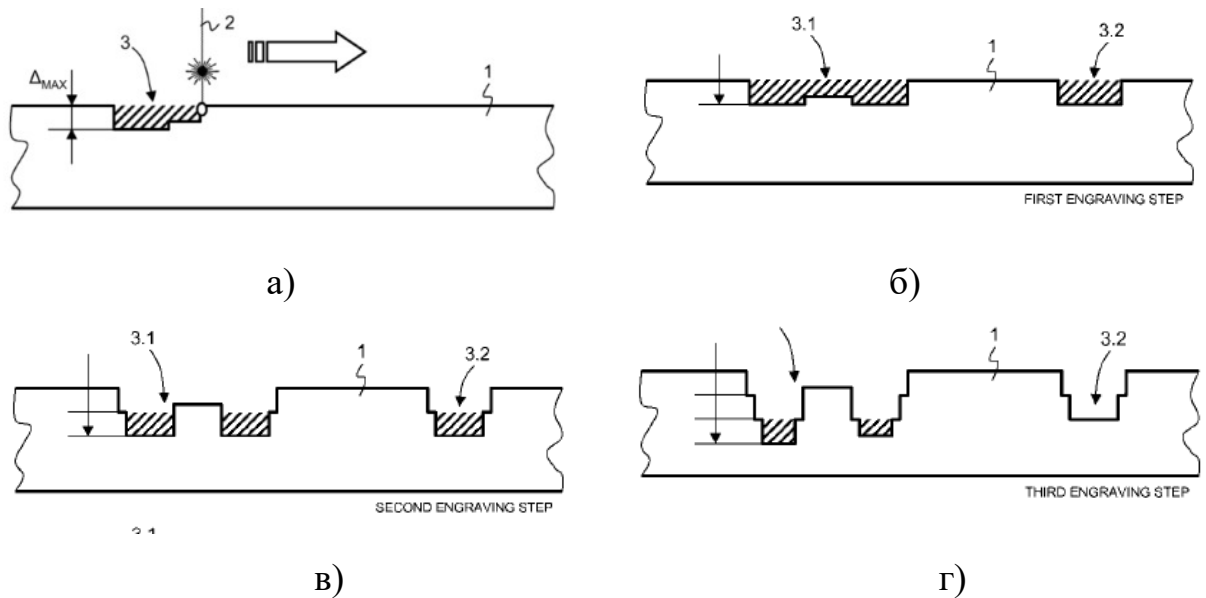


Рис. 1.2. Створення ГШ форм ІД за технологією DLE: а – принцип оброблення; б, в, г – ГШ різної глибини і форми на першому, другому і третьому проходженні лазерного променя, відповідно [66].

### 1.2.3. Нанесення захисного покриття магнетронним розпиленням.

Новітній процес нанесення ЗП нітриду хрому за допомогою МР хромової мішені в атмосфері азоту (PVD), повністю автоматизований і комп'ютеризований, забезпечує відтворюваний і екологічний процес [73]. Цей процес було розроблено за підтримки Європейського центрального банку [74] і впроваджено вперше Банкнотним двором Банку Італії (Banca d'Italia) [75]. Використано технологію фізичного осадження з парової фази (PVD): пряме нанесення покриття на пластини в середовищі високого вакууму дозволить виробляти захисні шари з покращеними механічними та трибологічними властивостями без використання небезпечних хімікатів або без утворення відходів і забруднення довкілля [75].

Процес створення тонких плівок  $CrN$  наведено розробником пристрою для цієї обробки [76]. Технологія *PVD* (фізичне осадження з парової фази) використовується, зокрема, для створення функціональних поверхонь. Процес здійснюється за допомогою катодних розпилювачів і полягає в бомбардуванні мішені (матеріалу, з якого буде виготовлена плівка,) іонами інертного газу (таких як аргон,  $Ar$ ) з високою енергією (приблизно від 100 еВ до  $\sim$  кеВ), внаслідок чого атоми мішені вибиваються з неї і осаджуються на підкладці,





систему (4), з'єднану з вакуумною камерою (3) для створення вакууму у внутрішньому просторі (30) вакуумної камери (3), і систему (5) фізичного осадження з парової фази (PVD) для осадження зносостійкого матеріалу покриття під вакуумом на гравіровану поверхню (10a) форми (10) для глибокого друку, яка система (5) фізичного осадження з парової фази включає щонайменше одна мішень (51, 52) матеріалу покриття, що містить джерело зносостійкого матеріалу покриття, який наноситься на гравіровану поверхню (10a) форми (10) для глибокого друку. Вакуумна камера (3) розташована таким чином, що форма для глибокого друку (10), на яку наноситься покриття, розташовується практично вертикально у внутрішньому просторі (30) вакуумної камери (3) з вигравірованою поверхнею (10a) звернена щонайменше до однієї мішені (51, 52) матеріалу покриття. Пристрій (1) для нанесення покриття на форму для глибокого друку додатково містить рухомий носій (6), розташований у внутрішньому просторі (30) вакуумної камери (3) і пристосований для підтримки та циклічного переміщення форми (10) для глибокого друку перед і повз щонайменше одну мішень (51, 52) матеріалу покриття».

Перебіг процесу нанесення нітрид-хромового покриття за допомогою устаткування PLATECOAT [77], що виготовлено згаданим вище патентовласником КВА й інстальовано на низці банкнотних виробництв світу, наведено на рис. 1.4: 1) завантаження попередньо очищеної гравійованої форми в робочу камеру пристрою; 2) відкачування робочої камери пристрою до тиску  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  мбар; 3) іоно-плазмове травлення (очищення) форми позитивно зарядженими іонами аргону  $Ar^{+}$  з подачею аргону в камеру за робочого тиску в різних циклах  $10^{-4}$ – $10^{-3}$  мбар (з кількарразовим відкачуванням робочої газової суміші до  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  мбар). На форму подається від'ємний потенціал; 4) іоно-плазмове травлення (очищення) хромових мішеней позитивно зарядженими іонами аргону  $Ar^{+}$  з подачею аргону в камеру за робочого тиску в різних циклах  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  мбар (з кількарразовим відкачуванням робочої газової суміші до  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  мбар). На мішені подається від'ємний

потенціал; 5) нанесення нітрид-хромового покриття товщиною 2–4 мкм. В робочу камеру подається азот в суміші з аргоном в пропорції 1:5; 6) закінчення циклу (зниження температури підкладки (форми), очищення робочого середовища відкачуванням до  $10^{-6}$  мбар; 7) зняття вакууму – напускання повітря до атмосферного тиску, відкривання робочої камери, виймання форми [77].

Загальна тривалість процесу становить до 5–5,5 год.



Рис.1.4. Тривалість етапів нанесення нітрид-хромового покриття за допомогою устаткування PLATECOAT [77]

### 1.3. Виробництво форм інтагліодруку в контексті екологічної безпеки: визначення потенційної шкідливості етапів технологічного процесу варіантів виготовлення форм

Фахівцями банкнотного виробництва неодноразово зазначалося, що процеси гальванопластики все ще залишається ключовим етапом виробництва ДФІ [71], з ними пов'язане використання принаймні ванн для хромування та нікелювання, а донедавна – і міднення. Ці процеси вимагають ретельного контролю та становлять екологічну проблему [71].

Аналіз стану та напрямків підвищення екологічної безпеки виробництва ДФІ будемо проводити відповідно до тих різних варіантів ТП, які використовуються зараз у тиражному виробництві в Україні:

I. Виготовлення форм методом *DLE* з використанням як основи латуні і багаторазової гальванопластики (нікелевої контрматриці і нікелевої форми, хромованого захисного покриття).

II. Виготовлення форм методом *DLE* з використанням як основи латуні і гальванопластики нікелевої контрматриці і нікелевої форми. ЗП нітриду хрому наноситься за допомогою *PVD* розпиленням хромової мішені в атмосфері азоту.

III. Виготовлення форм методом *DLE* з використанням як основи латуні з подальшим нанесенням ЗП за допомогою гальванопластики.

Також пропонується розглядати варіант IV (експериментальний) – виготовлення форм методом *DLE* з використанням як основи латуні із нанесенням ЗП нітриду хрому за допомогою *PVD* розпиленням хромової мішені в атмосфері азоту.

В усіх варіантах ТП оригіналом є файл даних, підготовлений за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для здійснення лазерного оброблення. Перших три варіанти передбачають використання електрохімічного осадження нікеля (варіанти I і II) та /або хрому (варіанти I і III). Тому доцільно зробити аналіз екологічної безпечності ТП з урахуванням витратних матеріалів (окрім латунної основи), які використовують для виготовлення форм ІД, та їх можливої шкоди для людини та довкілля.

Оцінка потенційних наслідків використання гальванічних процесів перебуває вже тривалий час у фокусі уваги не лише інженерної спільноти [78–80], а й під час використання ІД як мистецтва [8, 81]. У дослідженнях [78–80] наголошується на питаннях розвитку технологій і обладнання для очищення стічних вод таких виробництв. Це той технологічний етап, який має місце на усіх підприємствах.

Фабрика банкнотного паперу, Банкнотна фабрика і Монетний двір Банкнотно-монетного двору Національного банку України успішно пройшли наглядний аудит [82] на відповідність системи менеджменту підприємства вимогам міжнародних стандартів ISO щодо управління якістю та охороною

навколишнього середовища: система менеджменту підприємства є ефективною та відповідає вимогам стандартів ISO 9001 Системи управління якістю. Вимоги [83] та ISO 14001. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування [84], а також ISO 45001. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці – Вимоги [85]. Тому будемо вважати, що системні ризики з погляду ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 [86] на підприємстві не спостерігаються. Однак, варто, застосовуючи рекомендований, зокрема й стандартом [86] метод матриці наслідків/імовірностей, зробити порівняльний аналіз вказаних варіантів технологічного процесу з погляду потенційних ризиків, а також необхідного обсягу використання заходів з очищення стічних вод.

Для коректного порівняння варто навести склад та об'єм очищувальних розчинів та електролітів для виготовлення ДФІ, оскільки важливо врахувати не лише застосування на певному етапі ТП небезпечних речовин, але й їх обсяг використання (табл. 1.1).

Пропонуємо для оцінки потенційної небезпеки за ступенем впливу на людський організм технологічних компонентів взяти до уваги об'єм застосовуваного компонента  $V_{tci}$ , причому за базовий прийняти об'єм ванни  $V_b = 1000$  л. Тоді матимемо коефіцієнт шкідливості  $i$ -го етапу ТП  $k_i$ :

$$k_i = \frac{V_{tci}}{V_b} \max \left\{ \frac{4}{H_i^j} \right\},$$

де  $H_i^j$  – клас небезпеки  $j$ -го складника технологічного розчину  $i$ -го технологічного етапу виготовлення форм.

Таким чином, можемо встановити показник загальної небезпеки за ступенем впливу на людський організм всіх етапів  $m$ -го варіанту ТП  $K_m$  як

$$K_m = \sum_{i=1}^n k_i,$$

де  $n$  – загальна кількість етапів ТП.

Таблиця 1.1. Потенційна шкідливість етапів технологічного процесу варіантів виготовлення форм

№	Технологічний етап	Застосовувані речовини	Клас небезпеки складника за ступенем впливу на людський організм*	Клас небезпеки технологічного етапу за ступенем впливу на людський організм	Загальний об'єм застосовуваного розчину $V_{ci}$	Коефіцієнт шкідливості $i$ -го етапу $TP\ k_i$
1	2	3	4	5	6	7
Очищення (види)						
1.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні пластини перед нікелюванням	Хлористий натрій	3	3	1000	1,33
		Винний оцет	**			
2.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні латунної пластини перед <i>DLE</i>	Натрій піро-фосфорнокислий	4	2	40	0,08
		Етоксилат первинних спиртів	4			
		Гіпохлорит натрію	2			
		Гідроксид натрію (каустична сода)	2			
3.	Електролітичне знежирення друкарської форми перед електролітичним хромуванням	Натрію гідроксид	2	2	1000	2,00
		Натрію фосфат	4			
		Натрію метасилікат	**			
4.	Хімічне очищення гравійованої латунної пластини	Кислота сірчана	2	2	40	0,08
		Перекис водню	3			
5.	Полірування поверхні гравійованої латунної пластини	Бензин	4	4	0,5	0,0005
		Цитрат амонію	4			
		Гідроксид амонію	**			
		Етанол	**			

Продовження таблиці 1.1.

Продовження таблиці 1.1.						
1	2	3	4	5	6	7
6.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні латунної/нікелевої форми перед PVD	Спирт етиловий	4	4	0,5	0,00005
Гальванічне нанесення покриттів (види)						
7.	Нікелювання	Нікель сульфаміновокислий	1	1	2800	11,20
		Нікелю хлорид	1			
		Кислота борна	3			
		Натрію лаурілсульфат	**			
		Вода демінералізована	**			
7.1	Селективне електролітичне очищення електроліту нікелювання	Кислота сульфамінова	3	1		
		Нікель вуглекислий	1			
7.2.	Знежирення катодів	Натрію гідроксид	2	2	1000	2,00
		Натрію фосфат	4			
		Натрію метасилікат	**			
7.3.	Декапіювання катодів	Кислота сірчана	2	2	40	0,08
Всього нікелювання						13,28
9.	Хромування	Ангідрид хромовий	1	1	2800	11,20
		Кислота сірчана	2			
		Оксид хрому (III)	2			
		Вода демінералізована	**			
		Барій вуглекислий	2			
10.	Дехромування	Гідроксид натрію	2	2	1000	2,00
		Вода демінералізована	**			
Нанесення розділяючого шару						
11.	Нанесення розділяючого шару	Кислота борна	3	3	40	0,05
		Порошок яєчний альбуміновий	**			
		Вода демінералізована	**			

\* - за ступенем впливу на організм хімічні речовини поділяються на чотири класи небезпечності [87-89] : 1 - речовини надзвичайно небезпечні; 2 - речовини високонебезпечні; 3 - речовини помірно небезпечні; 4 - речовини малонебезпечні; \*\* - ГДК для речовини в Україні не визначено.

Як зазначено у стандарті ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 [86], матриця наслідків/імовірностей – це засіб поєднання якісних або напівкількісних оцінок наслідків і ймовірностей для отримання рівня ризику чи ранжування ризику. Оскільки формат матриці та застосовувані відповідні визначення залежать від вирішуваних завдань, це надає нам змогу сформувати її структуру, виходячи з проблеми, яка вирішується: варіанти ТП, виходячи з цих міркувань, можна порівняти, застосувавши матрицю наслідків/імовірностей технологічних етапів для кожного з варіантів ТП (табл. 1.2). Тут приймаємо  $k_i=0$ , якщо  $i$ -й етап не застосовується, або всі його складники є такими, ГДК для яких в Україні не визначено (вважається нешкідливим).

Тоді формування матриці наслідків/імовірностей для ранжування потенційних екологічних ризиків, які впливають з обсягу використовуваних на виробництві небезпечних процесів та речовин і необхідності очищення стічних вод, проведемо з урахуванням потенційної шкідливості етапів ТП варіантів виготовлення форм, визначених в табл. 1.1.

Ранжування потенційних екологічних ризиків, які відповідають ймовірності виникнення цих ризиків, а також, фактично, є ваговими коефіцієнтами для визначення (за потреби) видатків на забезпечення екологічних норм, визначимо як нормований власний вектор матриці-рядка:

$$P_m = \frac{K_m}{\sum_{m=1}^r K_m},$$

де  $r$  – кількість варіантів технологічного процесу (у нас  $r=4$ ).

Як бачимо, з погляду потенційних екологічних ризиків, а також видатків на утилізацію небезпечних відходів виробництва, найменш екоективним є варіант I  $P_1=0,50$  та варіант II  $P_2=0,34$ . Хоча останній і не містить електролітичного хромування, а використовує  $PVD$ , дворазове нікелювання майже нівелює позитивний вплив  $PVD$ . Технологічні процеси III і IV мають ранги  $P_3=0,16$  та  $P_4=0,002$ , відповідно. Таким чином, удосконалення ТП  $DLE+$



*PVD* дозволить суттєво підвищити екологічну безпечність і знизити видатки на утилізацію технологічних сумішей.

Таблиця 1.2. Матриця наслідків/імовірностей і ранжування потенційних екологічних ризиків варіантів виготовлення форм

№	Етапи ТП	Варіанти ТП			
		I. Латунна матриця <i>DLE</i> , нікелева контрматриця, нікелева форма, захисне електrolітичне	II. Латунна матриця <i>DLE</i> , нікелева контрматриця, нікелева форма, захисне покриття нітриду хрому <i>PVD</i> .	III. Латунна форм <i>DLE</i> , захисне електrolітичне хромування.	IV. Латунна форм <i>DLE</i> , захисне покриття нітриду хрому <i>PVD</i> .
1	Попереднє очищення (знежирення) поверхні латунної пластини перед <i>DLE</i>	0,08	0,08	0,08	0,08
2	Хімічне очищення гравійованої латунної пластини	0,08	0,08	0,08	0,08
3	Полірування поверхні гравійованої латунної пластини	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
4.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні пластини перд нікелюванням	1,33	1,33	0	0
5.	Нанесення розділяючого шару	0,05	0,05	0	0
6.	Нікелювання (контрматриця)	13,28	13,28	0	0
7.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні пластини перд нікелюванням	1,33	1,33	0	0
8.	Нанесення розділяючого шару	0,05	0,05	0	0
9.	Нікелювання (форма)	13,28	13,28	0	0
10.	Електrolітичне знежирення друкарської форми перед електrolітичним хромуванням	2,00	0	2,00	0
11.	Хромування	11,20	0	11,20	0
12.	Дехромування*	2,00	2,00	2,00	2,00
13.	Попереднє очищення (знежирення) поверхні латунної/ нікелевої форми перед <i>PVD</i>	0	0,00005	0	0,00005
Всього за варіантом ТП, $K_m$		42.68	29.48	13.36	0.16
Ранжування потенційних екологічних ризиків варіантів виготовлення форм, $P_m$		0.50	0.34	0.16	0.002

\* - операція дехромування не враховувалася, оскільки виконується позапланово.

## 1.4. Технічні вимоги до якості форм.

### 1.4.1. Організація контролю технологічного процесу виготовлення форм інтагліодруку.

На проміжних етапах виготовлення ДФІ відбувається постійний контроль якості напівфабрикатів. Проводиться контроль фізико-механічних властивостей і параметрів нікелевої форми: готова друкарська форма повинна мати розміри з допуском розміри  $\pm 1$  мм: довжина форми  $(860 \pm 1)$  мм, ширина  $(850)$  мм. Твердість нікелю за Брінелем має бути  $(190 \pm 10)$  кг/мм<sup>2</sup>. Гальванічний нікель повинен витримувати  $(20 \pm 2)$  подвійних згинів.

Контролю підлягає кожна ДФІ щодо виконання таких вимог: а) зображення на формі повинно бути розташоване відповідно до макету, або схеми, приведеної у додатку до технологічної карти на замовлення. Розміри зображення повинні суворо відповідати вказаним у технологічній карті на це замовлення. Допустиме відхилення розміру зображення від вказаного у технологічній карті не має перевищувати  $\pm 0,1$  мм, кроку множення виробів  $\pm 0,03$  мм; б) всі ДЕ, які є на гравюрі, включаючи найдрібніші та лінійний растр на дні ДЕ, мають бути відтворені на формі. Недопустимі розриви, які порушують цілісність графічних захисних елементів зображення (гільйонів, розеток, сіток тощо); в) на ПЕ не має бути плям матового хрому та порушень площинності (накидів, заглиблень, рисок, слідів полірування та інших дефектів); г) три форми одного комплекту мають бути товщиною  $0,76 \pm 0,01$  мм. Розбіжність за товщиною для однієї форми не має перевищувати  $0,015$  мм. Друкарська форма повинна мати розміри: довжина форми  $(860 \pm 1)$  мм; ширина форми  $(850 \pm 1)$  мм. Бокові поля повинні бути однакові.

### 1.4.2. Можливі дефекти форм, причини їх виникнення і методи усунення.

Розгляд дефектів, що можуть виникати під час виготовлення форм будемо проводити відповідно до тих технологічних процесів, які використовуються для тиражного виробництва.

Під час гальванічного нанесення нікелю (виготовлення нікелевої контрматриці і нікелевої матриці) можливі утворення пітінгів (отворів і нанесеному шарі) [89] через недостатню кількість лаурил-сульфату натрію в електроліті та забруднення електроліту органічними домішками, що потребує корегування електроліту. Також може спостерігатися недопустима (понад 20 %) різниця по товщині нікелевої пластини через недостатню кількість чи нерівномірний розподіл анодного матеріалу (нікелю) в анодних кошиках, що потребує корегування для подальших ТП. Дефект є незворотнім.

Також незворотними є можливі дефекти: розшарування нікелевого шару через неналежний режим подавання струму, твердість нікелю нижча 180 НВ через низьку температуру електроліту, нижчу за норму рН електроліту та високу щільність струму; твердість нікелю вища 220 НВ через високу температура електроліту чи те, що рН електроліту перевищує норму. Крім того, твердість нікелю може не відповідати нормам і навіть за оптимальних режимів і рН електроліту через забруднення електроліту неорганічними або органічними домішками. Все це потребує очищення електроліту. Тому можна зробити висновок, що наявність операції електрохімічного осадження нікелю в ТП виготовлення не лише суттєво подовжують ТП, але й можуть призводити до незворотного браку.

Технологічна операція захисного хромування ДФІ також може мати низку дефектів, які потребують контролю:

1) хром не осаджується або осаджується на окремих ділянках форми через: недостатню кількість сірчаної кислоти у електроліті; відсутність  $\text{Cr}^{+3}$  в електроліті; неналежну підготовку до хромування поверхні форми (недоліки знежирювання); 2) хром не осаджується у ДЕ форми через низьку криючу здатність електроліту, що потребує корегування режимів подачі струму; 3) низька твердість хромового покриття спричиняється надмірною кількістю сірчаної кислоти у електроліті чи підвищеною кількістю  $\text{Cr}^{+3}$ ; 4) матове хромове покриття спричиняється відхилення щільності струму або температури від заданих, невідповідністю складу електроліту обраному

режиму хромування чи низькою температурою пластини; 5) шорстке відкладення хрому виникає через відхилення щільності струму або температури від заданих чи забруднення електроліту; 6) відшарування хромового покриття виникає не лише через зміна режимів електролізу або перерву у подачі струму у процесі хромування, але й через неналежну підготовку поверхні форми. Останнє є однією з причин поганої адгезії захисного покриття і у разі його нанесення PVD.

Однак, операція хромування, незважаючи на свою беззаперечну екологічну шкідливість, зазвичай не призводить до незворотних дефектів, оскільки форма може бути розхромована і хромована повторно.

### **1.5. Особливості інтагліодруку, що можуть спричиняти руйнацію форм.**

Як вже зазначено у вступі, *DLE+PVD* потребує удосконалення режимів гравіювання та PVD [4]. Окремі вище описані (підрозд. 1.1) особливості ІД спричиняють поступове руйнування форм: 1) механічний фактор - надзвичайно високий тиск в зоні контакту ФЦ і ДЦ [4, 30, 91] не лише ущільнює основу банкнот та дозволяє застосувати в дизайні і захисних елементах ефект тиснення, але й може бути причиною руйнування форм ІД, особливо, якщо врахувати, що в роботах [20, 91–96] зазначено, що тиск в ДК прикладається відмінно до різних ділянок форми [4]. Також має місце тертя ФЦ зі СВ та збірним (фарбовим) циліндром; 2) тепловий вплив – в численних патентах [54–59, 66] і дослідженнях [20, 91–96] наголошується, що ФЦ має температуру до 80–82 °С, а подекуди і до 85 °С [66, 97–103], тобто і фарба на ньому має таку ж температуру; 3) хімічний вплив через дію фарби на основі алкідних смол [20, 91, 95, 96] з поверхнево-активними [97–99] та противідмарювальними речовинами [100, 101], а також через дію залишків очищувальних речовин СВ [102, 103].

Таким чином, можна зробити висновок, що руйнування ДФІ спричиняє низка факторів різноманітної природи [4], які діють спільно та циклічно, спричиняючи втомне руйнування [104] форм.

Ключовим для забезпечення високої тиражестійкості ДФІ, отриманих *DLE*, є забезпечення високої адгезійної міцності ЗП нітриду хрому до впливу зазначених факторів.

Необхідно детально дослідити, як зазначені особливості ІД спричиняють руйнацію і, як наслідок, зниження тиражестійкості форм, визначити фактори формування тиражестійкості ДФІ, визначити систему формування тиражестійкості форм [4] та розробити на цій основі технологічне забезпечення якості ДФІ.

#### **1.6. Система формування тиражестійкості форм інтагліодруку.**

На основі аналізу літературних джерел та аналізу процесу ІД виокремлено дві основні групи факторів, які впливають на тиражестійкість ДФІ [4, 15].

Першою групою є параметри процесу друкування (тиск у ДК, швидкість друку, склад змивного розчину, склад фарби, притискання СВ, параметри декеля, параметри паперу), котрі здійснюють значний вплив і, власне, спричиняють поступове руйнування форм ІД (рис. 1.5). Ці фактори є такими, які потребують урахування під час, наприклад, моделювання чи штучного зношування форм в дослідженнях. Однак вони є практично незмінними, оскільки визначаються особливостями способу друку чи технологічними регламентами [4].

Другою групою факторів є параметри процесів *DLE* і *PVD* виготовлення ДФІ [4]: спосіб очищення форми від напливів *DLE* (хімічне очищення, полірування) до завантаження в вакуумну камеру та безпосередньо режими очищення травленням в камері *PVD*; товщина ЗП нітриду хрому; склад аргонно-азотної суміші в камері під час *PVD*; температура форми під час *PVD*; склад (чистота) хромової мішені; вид і параметри системи ПЛГ;

параметри ГШ (їх ширина, довжина, глибина, напрямок відносно переважної орієнтації волокон паперу, відстань між штрихами, вид профілю (V – подібний, трапецієподібний, прямокутний, U – подібний), симетричність профілю (симетричний, асиметричний) [4, 15].

Частина вхідних факторів (ширина, довжина, вид лінії (пряма/крива), напрямок відносно переважної орієнтації волокон паперу, відстань між штрихами) визначається дизайном банкнот і не підлягає варіюванню. Ці фактори встановлені під час аналізу зображень ІД банкнот різних номіналів і можуть бути враховані під час розроблення модельних форм для подальших досліджень.

Чистота мішені приймається за ідеальну і не підлягає варіюванню: мішені поставляються і утилізуються виробником обладнання [77]. Хоча підвищення адгезії ЗП за рахунок використання модифікованих легованих мішеней може бути об'єктом подальших перспективних досліджень.

Стан поверхні форми після процесу DLE (шорсткість стінок штриха та твердість приповерхневого шару) має бути об'єктом вивчення і урахування задля з'ясування взаємозв'язку з параметрами штрихів форми і адгезією захисного покриття [1, 4, 15]. Це доцільно буде зробити в подальших перспективних дослідженнях.

Як першочергові, доцільно виокремити дослідження таких факторів як параметри ГШ, які можуть варіюватися – вид профілю (трапецієподібний, прямокутний), симетричність профілю (симетричний, асиметричний), кут нахилу стінок штриха, глибина штриха (в певних, заданих дизайном, межах), забезпечення належного стану поверхні штрихів після гравіювання [4].

Також доцільно виокремити дослідження таких факторів як спосіб очищення форми від напливів DLE до завантаження в вакуумну камеру та безпосередньо режими травлення в камері (тривалість (збільшена/рекомендована), напруга, що прикладається до форми, вид розряду); товщина захисного покриття нітриду хрому (в межах

рекомендованих виробником (2–6 мкм). Всі фактори, які можуть варіюватися, позначено на рис 1.5 напівжирним шрифтом.

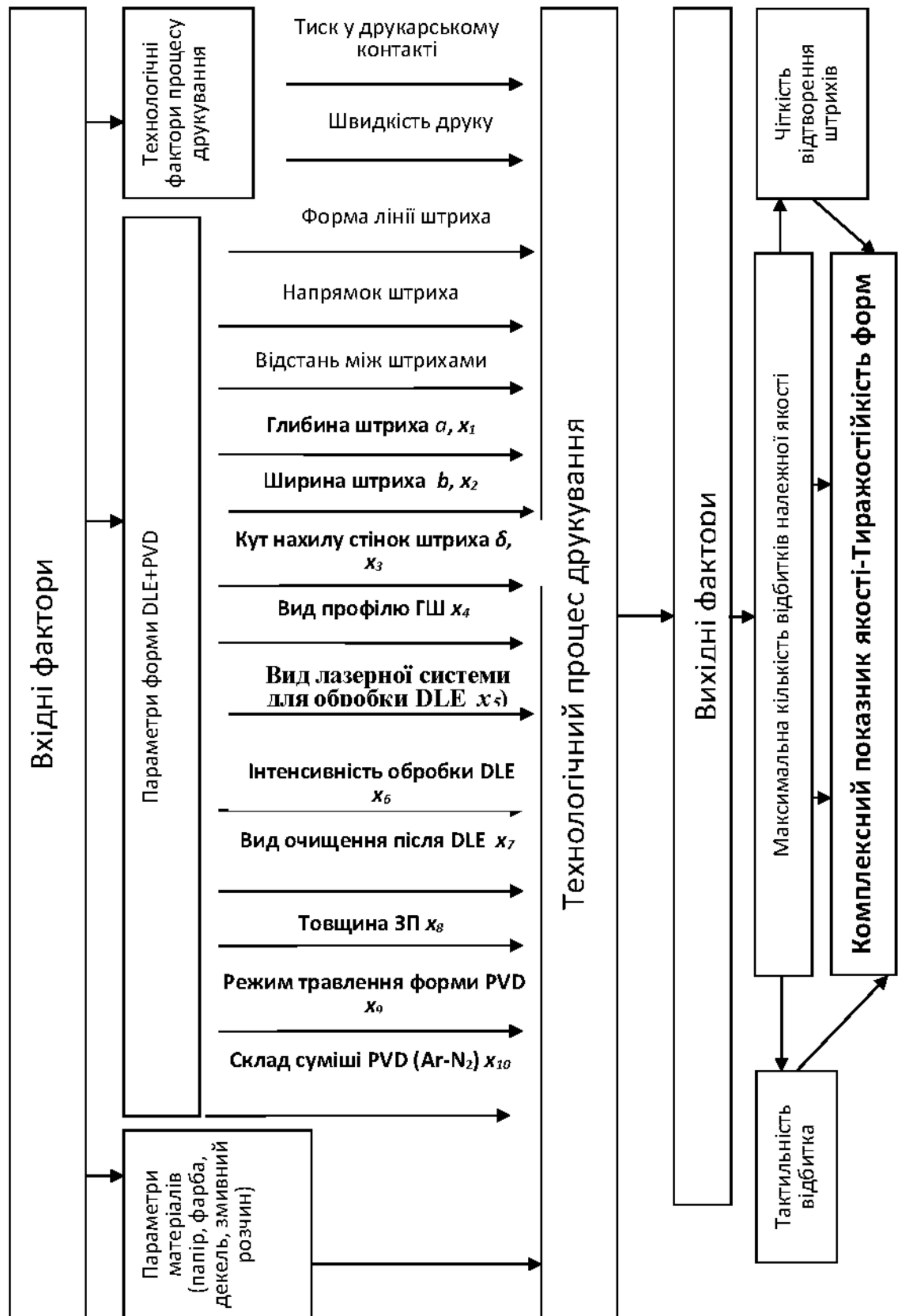


Рис. 1.5. Система формування тиражостійкості ДФІ [4].

Оскільки забезпечення тиражестійкості ДФІ є складним багатофакторним процесом, що характеризується різноманітними факторами, якими можна керувати, великою кількістю складних кореляційних зв'язків між факторами, дослідження залежності тиражестійкості ДФІ потребує використання багатофакторного експерименту [4]. Вихідні параметри можуть бути використані як критерії оптимізації.

Фактично, єдиним вихідним параметром якості форм є тиражестійкість – повна кількість задовільної якості відбитків, які можна отримати з однієї друкарської форми [43]. Враховуючи, що значною мірою тиражестійкість визначається адгезійною міцністю покриття, варто визначати її показники та чинники (напруги на окремих ділянках форм, міцність покриття та приповерхневого шару, мікроструктуру перерізу покриття та приповерхневого шару) як до зношування форми, так і після нього.

Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами має вигляд функції відгуку типу  $Y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , де  $x_1, x_2, \dots, x_k$  – керовані фактори, що впливають на відгук системи, які можна фіксувати на певному рівні або варіювати в процесі експерименту (наприклад, вид очищення форми, товщина захисного покриття, глибина, вид та симетричність профілю) [4]. Функцією відгуку є тиражестійкість ДФІ, що можливо визначити комплексним показником якості  $I$  через формування функції корисності на основі часткових показників якості – чіткості відтворення штрихів на відбитку  $y_1$  та тактильності відбитка  $y_2$ , наприклад за допомогою адитивної згортки показників [4, 20]. Незалежні фактори обрано, виходячи із загально прийнятих міркувань: фактори, які впливають на якість відбитків ІД, повинні мати певну область визначення, відповідати таким вимогам, як керованість, однозначність, сумісність між собою, можливість задання з достатньою для кількісного аналізу точністю, величина їх має залишатися сталою в процесі експерименту та впливати на залежні фактори. Незалежними факторами, які відповідають цим вимогам, у нашому випадку можуть бути: глибина штриха ( $a$ ) –  $x_1$ , мкм; ширина штриха ( $b$ ) –  $x_2$ , мкм, яка хоч і визначається дизайном,



однак може суттєво впливати на якість форм і тому її необхідно враховувати для подальшого удосконалення їх виготовлення; кут нахилу бокових стінок штриха ( $\delta$ ) –  $x_3$ , град.; вид профілю –  $x_4$  (у.о.); вид лазерної системи для обробки DLE –  $x_5$  (у.о.); інтенсивність обробки DLE –  $x_6$  (у.о.); вид обробки (очищення) після DLE –  $x_7$  (у.о.); товщина захисного покриття ( $d$ ) –  $x_8$ , мкм.; режим травлення форми PVD  $x_9$  (у.о.); склад суміші під час PVD (Ar-N<sub>2</sub>) –  $x_9$ , відс. [4, 17].

### 1.7. Технічні вимоги до матеріалу форм, отримуваних DLE

Основними вимогами до матеріалів для ПЛГ форм ІД є [69, 71]: 1) відмінні механічні властивості, щоб витримувати високий тиск до 80 тон у друкарському контакті [69]; 2) хороша обробка за допомогою лазерного променя з точки зору: низьке утворення або відсутність залишкового сміття; однорідність хімічного складу та механічних властивостей по всій поверхні; можливість хромування та перехромування пластини; хороші властивості механічного полірування. Ці ж автори відзначили непридатність нікелю до DLE через надмірне утворення напливів під час оброблення лазерним променем, які в подальшому важко видаляються з поверхні пластини.

Тому в одному з перших патентів щодо лазерного гравіювання форм ІД [105], а також [106] пропонується цинк, мідь чи їх сплави (латунь) як матеріал для гравіювання із покриттям більш твердим металом (хромом). Дослідники [69] писали про недостатню механічну стійкість латуні в умовах надзвичайно високого тиску в ДК ІД і пропонували використання сплавів неоголошеного авторами складу. Однак, розробники методу DLE наголосили на відповідності латуні як матеріалу для гравіювання [107], запропонували нанесення додаткового шару металу на поверхню газотермічним напиленням, оскільки на думку авторів, відомо, що цинк-нікелеві сплави мають твердість до 400 HV, що значно перевищує максимальне значення 150 HV як для шарів чистого цинку, так і нікелю [107]. Там же зазначено, що такі цинк-нікелеві сплави також мають хорошу стійкість до окислення. Отже, цинк-нікелеві сплави

твердіші порівняно з чистим цинком, але в той же час їх можна дуже добре структурувати за допомогою лазерних променів. Отже, подальше екологічно небезпечне і трудомістке хромування, яке є незамінним для сучасних відомих ЗП, більше не потрібне [107]. Такий підхід не був впроваджений у виробництво, однак, вперше було наголошено на необхідності заміни трудомісткого і екологічно небезпечного гальванопластичного хромування поверхні форм напиленням (в тому випадку – газотермічним). В згаданому патенті вказано, що вміст цинку в сплаві для гравіювання бажаний не менш, як 60 %. Таким чином, застосування сплавів цинку типу латуні (марки Л 63, наприклад) є цілком обґрунтованим для виготовлення інтагліоформ, а його застосування для форм потребує подальших досліджень для удосконалення технологічного процесу та досягнення високих показників якості.

#### **1.8. Аналіз застосування загальних підходів до зношування деталей і вузлів поліграфічного устаткування.**

Загальні проблеми зношування деталей і вузлів поліграфічного устаткування розглядалися низкою вітчизняних та закордонних вчених [108–112]. У роботі [112], яка стосувалася офсетного обладнання, визначено, що для вузлів тертя цих машин характерними є: групи видів зношування – механічне, атомно-молекулярне, корозійне і ерозійне [112]. Серед них прості види зношування – абразивне, втомне, фретинг (вібродиспергування), теплове, окислювальне, корозійна дія агресивних середовищ, гідроерозійне і електроерозійне [112], а також змішані парні види зношування – абразивно-теплове, фретинг-корозія, абразивно-корозійне [112]. В цілому, поділяючи такий підхід, вбачаємо за доцільне провести детальний аналіз взаємодії складників саме для друкарської секції ІД.

Процеси зношування форм інтаглідруку було розглянуто в роботі [113], де авторами розглянуто складники та структуру друкарського апарату ІД, однак необґрунтовано, на нашу думку, зосереджено увагу лише на взаємодії ФЦ зі СВ і виведено з розгляду, як несуттєвий, на їх думку, ДК формного та

друкарського циліндрів і зауважено, що «у цьому контакті папір притискається до заповненої фарбою форми. Невелике ковзання спричинене деформацією паперу та друкарського циліндра. За цих обставин важливою змінною є кількість мікроковзання через деформацію. Оскільки ковзання, ймовірно, буде невеликим, цей контакт дуже мало сприятиме зносу хромованого покриття» [113]. Однак, численні автори як наукових досліджень [20, 49, 50, 91–94, 114], так і численних патентів [53–66] наголошували на вирішальній ролі великого тиску в ДК ІД для перебігу усіх процесів.

Тому вбачається за доцільне уточнити тип зношування в парі ФЦ – СВ (з урахуванням використання змивного розчину) та ФЦ – фарбовий циліндр, а також розглянути процеси в ДК на пробільних і друкувальних елементах, де присутні не лише абразивна дія фарби, що витискається зі штриха, паперу, що здійснює рух в ДК, але й деформування форми під дією тиску.

## **Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження.**

1. Удосконалення якості ДФІ є надзвичайно важливим науково-практичним завданням державної ваги для забезпечення вітчизняного банкнотного виробництва, оскільки ІД є захисною ознакою з надзвичайно тривалим життєвим циклом.

2. Технології виготовлення ДФІ постійно удосконалюються як через потребу забезпечити високу якість друку і ефективність виробництва, так і з міркувань підвищення екоефективності банкнотного виробництва. Нами на основі ранжування потенційних екологічних ризиків вперше доведено, що впровадження найсучаснішого технологічного процесу DLE+ PVD дозволить знизити в 80-170 разів екологічні ризики порівняно з тиражними варіантами виготовлення форм.

3. Технологічний процес DLE+ PVD потребує удосконалення режимів гравіювання, оброблення форм після видалення напливів та PVD, оскільки особливості лазерного оброблення, очищення форм після нього та вакуумного наплення можуть викликати зниження тиражестійкості форм через недостатню адгезійну стійкість ЗП. Геометрична форма штрихів (співвідношення ширини до глибини, кут нахилу стінок штрихів) та якість їх поверхні є важливим чинником належного фарбоперенесення та високої якості друку. Застосування латуні є обґрунтованим для виготовлення інтагліоформ, його застосування потребує подальших досліджень для удосконалення технологічного процесу та досягнення високих показників якості.

4. Аналіз застосування загальних підходів до зношування деталей і вузлів поліграфічного устаткування показав доцільність дослідження процесів у друкарській секції інтаглідруку з погляду визначення чинників та видів зношування у всіх контактах формного циліндру, розглянути процеси в ДК на пробільних і друкувальних елементах.

5. Виокремлено основні групи факторів, що можуть впливати на тиражестійкість ДФІ: параметри процесу DLE, в тому числі спосіб видалення

напливів металу у процесі лазерного гравіювання; параметри ГШ форми ІД (ширина, довжина, глибина, відстань між штрихами, вид профілю (трапецієподібний, прямокутний), симетричність профілю (симетричний, асиметричний)); параметри процесу вакуумного напилення (температура підложки (форми під час напилення), шорсткість пробільних та друкувальних елементів, товщина нітрид-хромового покриття, режимів травлення підложки в камері напилення, відсотковий склад газової суміші  $\text{Ar-N}_2$  в камері напилення). Ці фактори є підґрунтям для розроблення загального алгоритму досліджень та вибору стандартних методик та розроблення нових.

6. Завданнями дисертаційної роботи, які впливають з проведеного аналізу є: необхідність дослідити зміну стану поверхні та приповерхневих шарів елементів, тиражестійкості та якості друкування ДФІ, виготовлених DLE+PVD; проаналізувати процеси та усі види впливів в друкарській секції машин ІД, встановити механізми зношення в друкарській системі ІД та розробити інтегровану модель зношування ДФІ; встановити вплив технологічних параметрів виготовлення на параметри якості гравіюваних ДЕ та узагальнені показники якості ГШ форм, виготовлених DLE; визначити засоби забезпечення якості ДФІ, дослідити параметри якості ДЕ, виготовлених за альтернативними технологіями та на цій основі розробити систему технологічного забезпечення якості форм ІД.

## **РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.**

### **2.1 Загальний алгоритм проведення досліджень.**

Лазерне гравіювання є першим, не рахуючи етапу дизайну форм, етапом ТП, під час якого мають бути максимально дотримані запроектовані параметри ГШ, котрі визначають як тактильність відбитків (ключову захисну ознаку, яку забезпечує інтагліодрук), так і їх колірні характеристики. Тому визначення якості відтворення ГШ та її залежності від запроектованих параметрів профілю є актуальним завданням, що дозволить удосконалити режими оброблення форм DLE та розширить її використання у виробництві захищеної поліграфічної продукції [6].

Загальний алгоритм проведення досліджень щодо підвищення якості ДФІ включав такі етапи:

1. Попереднє дослідження тиражестійкості форми DLE+PVD у виробничих умовах з дослідженням стану ГШ після виробничих випробувань та встановлення взаємозв'язку параметрів ГШ з якістю відбитків [4, 10]. Дослідження процесів в друкарській секції ІД та визначення причин руйнації нітрид-хромового PVD-покриття ДФІ, виготовлених методом DLE та шляхів підвищення їх тиражестійкості [4];

2. Дослідження якості гравіювання штрихів з різними геометричними параметрами на різних режимах оброблення тиражною виробничою лазерною системою DLE та визначення рекомендованих профілів штрихів на модельній формі (МФ) [5, 6, 7, 9, 10, 11];

3. Дослідження впливу режимів попереднього очисного травлення латунної основи на стан поверхні форми перед PVD [1, 9, 13];

4. Порівняльні дослідження якості гравіювання штрихів на МФ з різними рекомендованими профілями на різних режимах оброблення тиражною виробничою лазерною системою DLE та експериментальною

лазерною системою та визначення рекомендованих режимів оброблення [5, 6, 7, 9, 11].

5. Визначення засобів забезпечення якості ДФІ [4, 11, 15, 17].

## 2.2. Матеріали, що використано в дослідженнях.

### 2.2.1. Матеріали для виготовлення модельних форм.

В усіх дослідженнях як матеріал для виготовлення форми використано латунь [105–107] марки Л 63 [115–119]. В таблиці 2.1 наведено типовий хімічний склад матеріалу [119]. Товщина пластини 0,977–1,032 мм.

Таблиця 2.1. Хімічний склад матеріалу Л63, % [119]

Елемент	Cu	Zn	Fe	P	Pb	Sb	Bi	Домішки
Кількість, %	62 - 65	34.22 - 37.5	до 0.2	до 0.01	до 0.07	до 0.005	до 0.002	всього 0.5

За даними авторів [119], твердість латуні Л63 (за умови листової поставки)  $HV 10^{-1} = 70$  МПа.

Таблиця 2.2. Фізико-механічні властивості латуні Л 63 при температурі 20°C [119]

Межа короточасної міцності $\sigma_b$ , МПа	Відносне подовження при розриві $\delta_5$ , %	Модуль пружності першого роду $E \cdot 10^{-5}$ , МПа	Коефіцієнт лінійного температурного розширення (діапазон 20° – 100°) $\alpha \cdot 10^{-6}$ , 1/Град	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
290-400	30-38	1.16	20.5	8440

Коефіцієнт тертя: зі змащуванням 0.012; без змащування 0.39 [119].

У PVD використано мішені з хрому чистотою 99,99%, робочі гази (аргон і азот) класу чистоти відповідно до вимог виробника обладнання [77].

Матеріали для очищення основи перед DLE, після DLE, перед PVD, відповідно до [120] наведено в табл. 1.1 і 1.2 (розділ 1).

### 2.2.2. Матеріали для друкування пробного накладу.

Для виконання досліджень тиражестійкості форм DLE+PVD в умовах спеціалізованого виробництва було виготовлено експериментальні зразки на тиражному виді банкнотного паперу (табл. 2.3) [10].

Склад модельної фарби: сикатив – 3 %; біла смола ST – 28 %; прозора смола ST – 8 %; пігментні концентрати (за рецептурою, 4 види) – загалом 46 %; смола для підвищення в'язкості – 10 %; противідмарювальна домішка – 5 %. Колір фарби – темно-фіолетова. Реологічні властивості фарб (за температури 40 °C): липкість 126 кДж; в'язкість 7 Па·с.

Таблиця 2.3. Характеристики паперу для пробного друку [10]

Показники якості	Значення
Кількість шарів	Двошаровий
Проклеювання	БФ*
Товщина мкм	111±1
Маса, г/м <sup>2</sup>	91,8
Вологість, %	6,2
Лінійна деформація у поперечному напрямі, %	1,9
Поверхнева вбирність води, г/м <sup>2</sup> (Кобб <sub>60</sub> )	
– верхній бік паперу	12,4±3
– сітковий бік паперу	14,2±2,5
рН водної витяжки	6,5
Шорсткість, верхній бік /сітковий бік, мл/хв.	378 / 362
Непрозорість, %	91,0
Абсолютний опір роздиранню, мН	Маш.=830; Попер.=935
Подвійні згини	Маш.=7460; Попер.=4385
Руйнівне зусилля, Н	Маш.=124; Попер.=65
Відносне подовження, %	Маш.= 5,2 ; Попер.= 9,9
Вологоміцність, %	50,6
Зольність, %	3

\* - безформальдегідне проклеювання.



### 2.3. Основне технологічне обладнання, використане в дослідженнях

1. DLE форм – система ПЛГ Jura JSP Direct Laser Engraver [65]: тип лазера – неодимовий (Nd:YAG, алюмо-іттриєвий гранат легований іонами неодиму); довжина хвилі 1064 нм; потужність 15 Вт; частота імпульсів, 0–200 кГц; тривалість імпульсу – мін. 5 мкс; глибина гравіювання 30-100 мкм; максимально можлива глибина гравіювання до 250 мкм; діаметр лазера – 10 мкм, лазер фірми ROFIN; область гравіювання – 54×54 мм. Виробник - Jura JSP.

2. DLE форм – система прямого лазерного гравіювання Piranha μ Pico [121] (тип лазера – неодимовий (Nd:YAG, алюмо-іттриєвий гранат легований іонами неодиму); довжина хвилі 1064 нм; потужність 12 Вт; тривалість імпульсу – до 12 пс). Площа оброблення 510 x 465 x 510 мм. Виробник – ACSYS Lasertechnik GmbH (Німеччина);

3. Нанесення ЗП за допомогою PVD – система напилення PLATECOAT (підрозділ 1.3, рис. 1.10, 1.11. [77]). Виробник *KBA Notasys S.A./ SURCOTEC S.A.* [77, 122].

4. Друкування пробних накладів здійснено на на аркушевій друкарській машині *KBA Notasys S.A. Super-Orlof-Intaglio.*

### 2.4. Методика виготовлення модельних форм.

#### 2.4.1. Базовий технологічний процес виготовлення модельних форм. Модельна форма 1 - повнорозмірна (формат 850x860 мм).

- 1) Хімічне очищення перед гравіюванням (підрозділ 1.4, табл. 1.1);
- 2) Гравіювання з використанням системи ПЛГ Jura JSP Direct Laser Engraver [65] (матеріал пластини – латунь Л63; товщина пластини 0,977–1,032 мм. Використано файл для гравіювання тестового зображення

(багатотонового) та плашок з параметрами штрихів, наведеними в таблиці 2.4 та Додатку В;

Таблиця 2.4. Запроектовані параметри ГШ плашок МФ 1 [10]

№	Ширина штриха, мкм	Глибина штриха, мкм	Кут нахилу стінок штриха, град.	Кут нахилу штриха до напрямку друку, град.
1	50	60	90	45
2	90	60	90	45
3	140	60	90	0
4	140	60	90	90
5	300	80	90	0
6	300	80	90	90

- 3) Хімічне очищення після гравіювання (підрозділ 1.4, табл. 1.1), 7 хв.;
- 4) Промивання демінералізованою водою;
- 5) Сушіння за допомогою стисненого повітря;
- 6) Шліфування звороту гравіюваних пластин на шліфувальному станку Rastelli Super (ORMAG SpA) до товщин: мінімальна – 0,82 мм., максимальна – 0,83 мм; (використовувався камінь Нортон 39с54НВ12);
- 7) Шліфування лицьових поверхонь для видалення напливів на краях штрихів зображення за допомогою брусочків з липового вугілля;
- 8) Полірування лицьових поверхонь: а) полірувальна машина Rota-Set, полірувальна паста MENZERNA P126A, нефрас А 150/330 (ГАС) 0,78-0,8 г/см<sup>3</sup>; б) тканина сірошинельна, паста для полірування мідних пластин Sigolin; в) промивання трихлоретиленом 1,35 г/см<sup>3</sup>.
- 9) Знежирення хімічно осадженим карбонатом кальцію та оцтом винним;
- 10) Сушіння поверхні пластин стиснутим повітрям;
- 11) Обробка етиловим спиртом  $\approx 0,2$  літра на кожну пластину;
- 12) Нанесення ЗП нітриду хрому за технологією PVD у вакуумному середовищі в системі PLATECOAT. Перед нанесенням шару нітриду хрому після закріплення в направляючі системи PLATECOAT пластину було ще раз оброблено поливанням етиловим спиртом в кількості  $\approx 0,2$  літра;

13) Візуальна оцінка суцільності нітрид-хромового покриття;

14) Механічні тести на ступінь закріплення ЗП.

Виготовлено чотири МФ 1. Така послідовність операцій застосована в усіх варіантах виготовлення МФ, тому далі буде висвітлено лише відмінності технологічного процесу.

#### 2.4.2. Модельна форма 2.

Особливість МФ 2 – виготовлення її без ЗП [5, 6, 7, 9, 10, 11]. Відмінності ТП від базового (підрозділ 2.4.1):

- виконано п. 1 – 10 базового ТП (окрім п. 6);
- запроектовано і вигравійовано (п. 2) вісім плашок, кожна з яких є сукупністю 30 ГШ з параметрами, наведеними в табл. 2.5, відповідно до профілю (рис. 2.1). Кожна плашка має область гравіювання – 54x54 мм.

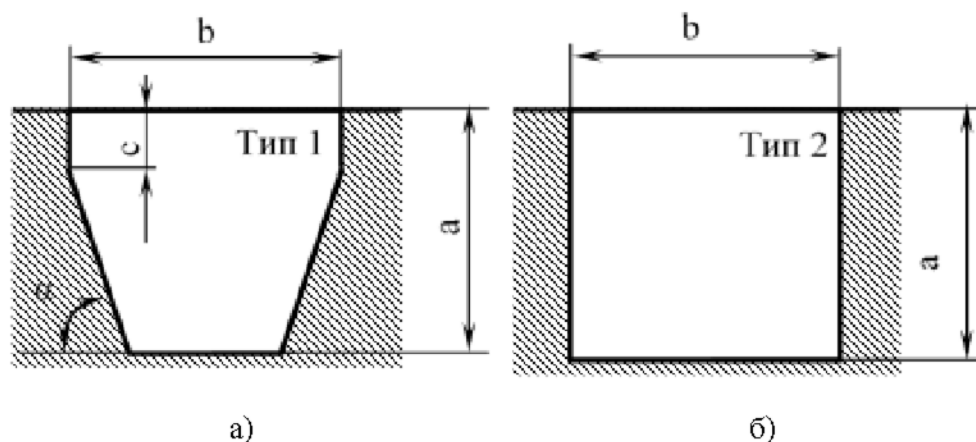


Рис. 2.1. Профілі ДЕ

Застосовано три різних режими лазерного гравіювання (НЗЛ – видаляє шар товщиною 2 мкм за прохід; НЗМ – видаляє шар товщиною 4 мкм за прохід; НЗН – видаляє шар товщиною 8 мкм за прохід) було вигравійовано вісім ідентичних ділянок (плашок) з набором друкарських елементів з різною геометрією поперечних профілів (табл. 2.5) [1, 5, 6, 7, 9, 11, 13].



### 2.4.3 Модельна форма 3.

Особливістю МФ 3 є:

1) її двоетапне гравіювання лазерними системами з різними параметрами. Гравіювання здійснено з використанням систем прямого лазерного гравіювання Jura JSP Direct Laser Engraver (I етап гравіювання) і Piranha µ Pico (II етап гравіювання) відповідно до схеми та послідовності гравіювання та оброблення, наведеної на рис. 2.2 і 2.3;

2) нанесення ЗП PVD на гравійовані ділянки з операцією полірування та без неї для обох видів лазерних систем. Ще одна відмінність від базового варіанту (підрозділ 2.4.1) – застосовано латунну пластину 470×497 мм;

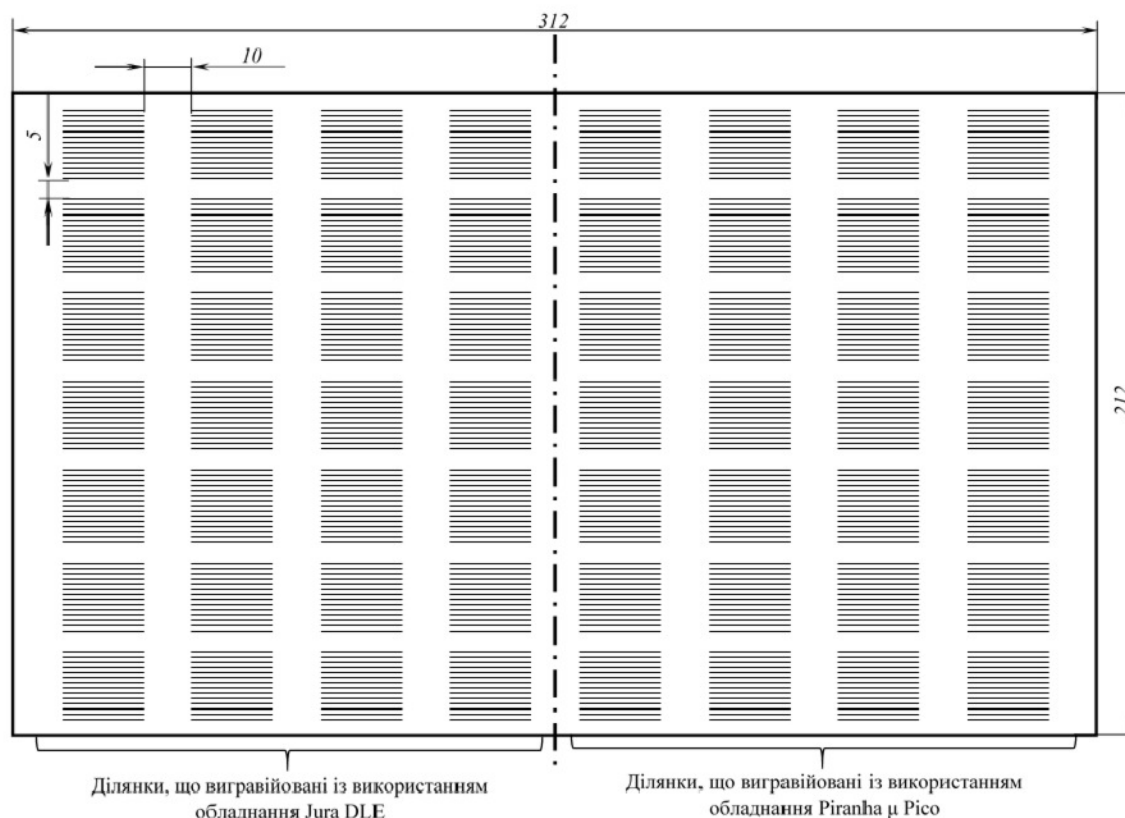


Рис. 2.2. Схема розташування ділянок з ГШ

3) Використано файл для гравіювання тестового зображення – плашок з параметрами штрихів, наведеними в таблиці 2.6;

4) Частини пластини, що містять блоки 1 та 8 з гравійованими ділянками, було відокремлено після повного гравіювання по лініях різі (рис. 2.3). Ці частини не піддавали хімічному очищенню після гравіювання, на відміну від блоків 2–7.

5) Шліфування звороту гравійованих пластин не здійснювалося;

6) Шліфування лицьових поверхонь для видалення напливів на краях штрихів зображення за допомогою брусочків з липового вугілля і ручне полірування лицьових ділянок здійснено лише для блоків 4 і 5 (рис. 2.3);

7) Нанесення шару нітриду хрому за технологією PVD у вакуумному середовищі в системі PLATECOAT здійснено на ділянку блоків 3–6 (рис. 2.3).

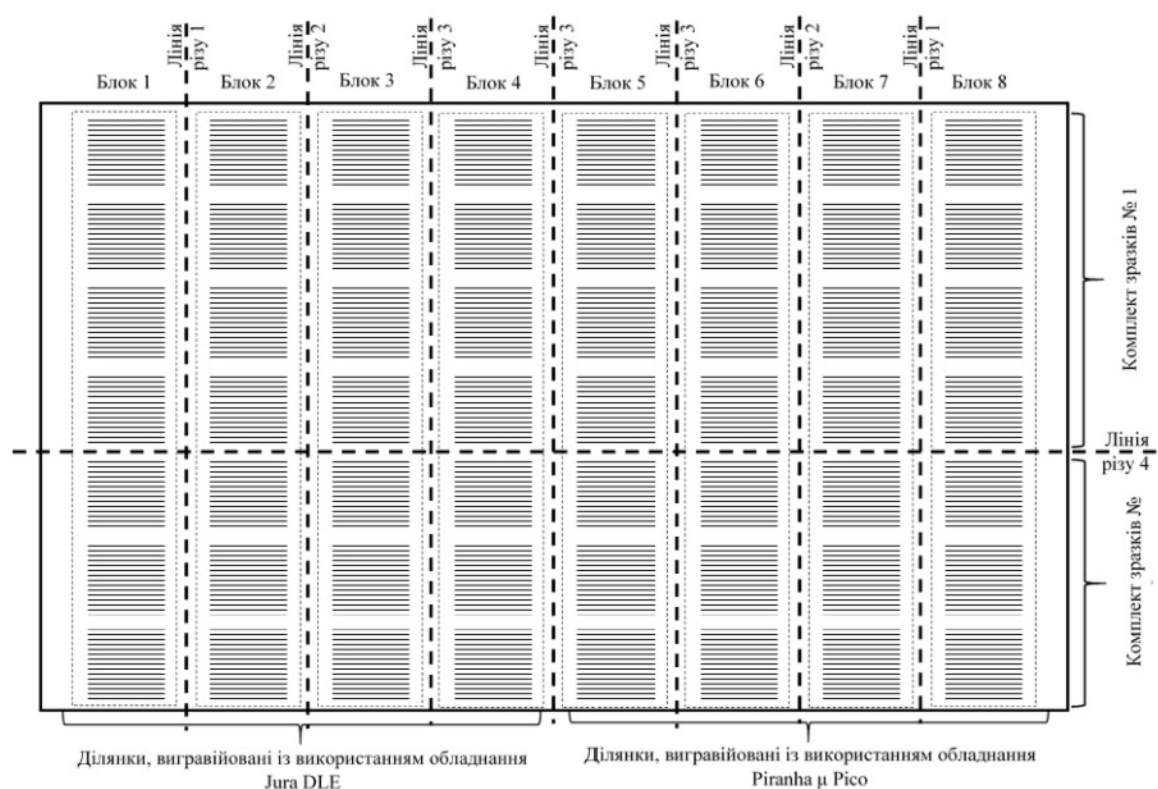


Рис. 2.3. Схема послідовного оброблення зразків

Таблиця 2.6. Параметри ГШ, що були відгравійовані в межах однієї ділянки МФ 3

№ лінії	Тип профілю*	Геометричні параметри				Режим лазерної обробки
		а, мкм	б, мкм	с, мкм	α, град.	
1	2	3	4	5	6	7
1	1	100	100	16	75	H3H
2	1	100	100	16	75	H3M
3	1	100	100	10	60	H3H
4	1	100	100	10	60	H3M
5	2	100	100	-	-	H3H
6	2	100	100	-	-	H3M
7	1	80	100	16	75	H3H
8	1	80	100	16	75	H3M
9	1	80	100	10	60	H3H
10	1	80	100	10	60	H3M
11	2	80	100	-	-	H3H
12	2	80	100	-	-	H3M
13	1	40	40	10	75	H3H
14	1	40	40	10	75	H3M
15	1	40	40	10	75	H3L
16	1	40	40	10	60	H3H
17	1	40	40	10	60	H3M
18	1	40	40	10	60	H3L
19	2	40	40	-	-	H3H
20	2	40	40	-	-	H3M
21	2	40	40	-	-	H3L
22	2	60	60	-	-	H3H
23	2	60	60	-	-	H3M
24	2	30	30	-	-	H3H
25	2	30	30	-	-	H3M
26	2	30	30	-	-	H3L
27	2	20	30	-	-	H3H
28	2	20	30	-	-	H3M
29	2	20	30	-	-	H3L
30	2	20	140			H3L
31	2	20	140			H3M
32	2	20	140			H3H

Таблиця 2.6. Параметри лінійних елементів, що були відгравійовані в межах однієї ділянки (продовження)

1	2	3	4	5	6	7
33	2	40	140			НЗМ
34	2	40	140			НЗН
35	2	60	140			НЗМ
36	2	60	140			НЗН
37	2	80	140			НЗМ
38	2	80	140			НЗН
39	2	60	300			НЗМ
40	2	60	300			НЗН
41	2	80	300			НЗМ
42	2	80	300			НЗН
43	2	100	300			НЗМ
44	2	100	300			НЗН
Довжина ГШ – 25 мм Відстань між ГШ – 0,4 мм						

## 2.5. Методика оброблення поверхні пробільних елементів модифікованим джерелом плазми.

Вивчення доцільності корегування режимів попереднього оброблення (тривалості, інтенсивності, виду іонно-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття) під час PVD як засобу забезпечення адгезійної міцності захисного покриття [1, 9, 13] проведено з використанням високочастотного геліконного розряду [123, 124] як джерела технологічної плазми.

Високочастотний геліконний розряд, як визначено авторами [123, 124], функціонує у широкому діапазоні тисків робочого газу, сумісних з необхідними парціальними тисками азоту як хімічно активного газу, що використовується для отримання нітриду хрому.

Як об'єкт дослідження було обрано зразки, вирізані зі стандартного промислового катаного листа латуні Л63, які були проміжними між плашками



(модельна форма 2). Розмір досліджуваних латунних зразків 18x10x1 мм. Зразки перед дослідженням очищували від механічних часток стандартно притиранням тканиною, змоченою в очищеному бензині і додатково знежирювали в етиловому спирті [1, 9, 13].

Загальна схема експериментальної установки детально описана в [125]. Вакуумна камера відкачувалася до залишкового газу з парціальним тиском не вище  $8 \cdot 10^{-3}$  Па. Якщо порівнювати з промисловим нанесенням ЗП нітриду хрому на латунну підкладку під час PVD [77, 122], коли обробка ДФІ відбувається за попереднього відкачування до  $10^{-3}$ – $10^{-2}$  Па і подальшого травлення протягом 20-100 хв. в атмосфері аргону тиском  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  Па, досліджувані нами зразки оброблено за умов глибшого вакууму.

Зразок закріплювали на поверхні робочого столика експериментальної установки [125] за допомогою пластин, що притискають, на відстані 200–250 мм від джерела ВЧ плазми. Час оброблення зразків (після відкачування до робочих значень тиску) становив 10–45 хв [1, 9, 13].

## **2.6. Методика досліджень якості гравійованих штрихів.**

### **2.6. 1. Методика підготовки та дослідження металографічних шліфів**

Із описаних в підрозділі 2.4 форм усіх видів з ділянок з ГШ відповідно до стандартних методик [126–128] підготовлено для подальших досліджень металографічні шліфи, які, за вимогами [126] було вирізано в типових місцях - перпендикулярно до площини пластини і ГШ: 1) зразки спершу шліфували із застосуванням дрібнодисперсних абразивів різної зернистості (від 500 до 2500; шліфувальні порошки М20, М14); 2) потім зразки полірували речовиною з додаванням суспензії з оксиду алюмінію, хрому на горизонтально-полірувальному крузі, покритому сукном [5, 6, 7, 9, 11].

Одержані зразки [5, 6, 7, 9, 11] досліджено за допомогою оптичного мікроскопа віддзеркаленого світла Neophot-32, який дає можливість досліджувати травлені та нетравлені мікрошліфи зі збільшенням до  $\times 1000$  з фотофіксацією [129]. Таким способом здійснено вимірювання параметрів ГШ та оцінку якості гравіювання (із застосуванням розроблених методик, які буде описано далі [5, 6]), а також вимірювання товщини ЗП [130].

Для дослідження мікроструктури ДФІ було використано методи оптичної металографії [126, 131] з травленням шліфів у суміші аміаку водного (щільність  $0,9 \text{ г/см}^3$ ) та перекису водню 3 %-ого за ISO 14577-4:2016 із застосуванням мікроскопа віддзеркаленого світла Neophot-32 [5, 6, 7, 9, 11].

Вимірювання мікротвердості ЗП, а також приповерхневого шару латунної основи (МФ1) здійснено за Віккерсом ISO 6507-1:2018 [132] на мікрошліфах в зоні найбільших та найменших за площиною поперечного перетину ГШ за 16-ма точками кожної глибини (безпосередньо біля їх дна (відстань до 10 мкм) та на відстані 30, 70, 150, 200, 250 мкм від дна з похибкою, що не перевищувала 10 %) за схемою (рис. 2.4). Використано твердомір HV-1000В (виробництво LEADTEK) [133].

Для досліджень форми 3, виготовленої з використанням різних систем лазерного гравіювання (підрозд. 2.4.3) вимірювання мікротвердості захисного покриття, а також приповерхневого шару латунної основи здійснено за ISO 14577-1:2015 [131, 132] на мікрошліфах за 16-ма точками кожної глибини (безпосередньо біля їх дна (відстань до 10 мкм) та на відстані 20, 40, 60, 80, 100 та 200 мкм від дна з похибкою, що не перевищувала 10 %) за допомогою твердоміра FISCHERSCOPE® H100C [135, 136] з комп'ютерним керуванням, який дозволяє здійснити вимірювання мікротвердості як за Віккерсом, так і універсального показника твердості  $HU$  і твердості за Мартенсом  $HM$  (цей метод порівняно із поширеним методом вимірювання твердості за Віккерсом

дозволяє уникнути впливу суб'єктивного фактора – візуального вимірювання діагоналей відбитка вдавлювання) [135, 136]. Переведення універсальних показників твердості  $HU$  та  $HM$  у величини, що відповідають показникам за Віккерсом здійснюється за таблицями переведення відповідного класу матеріалів.

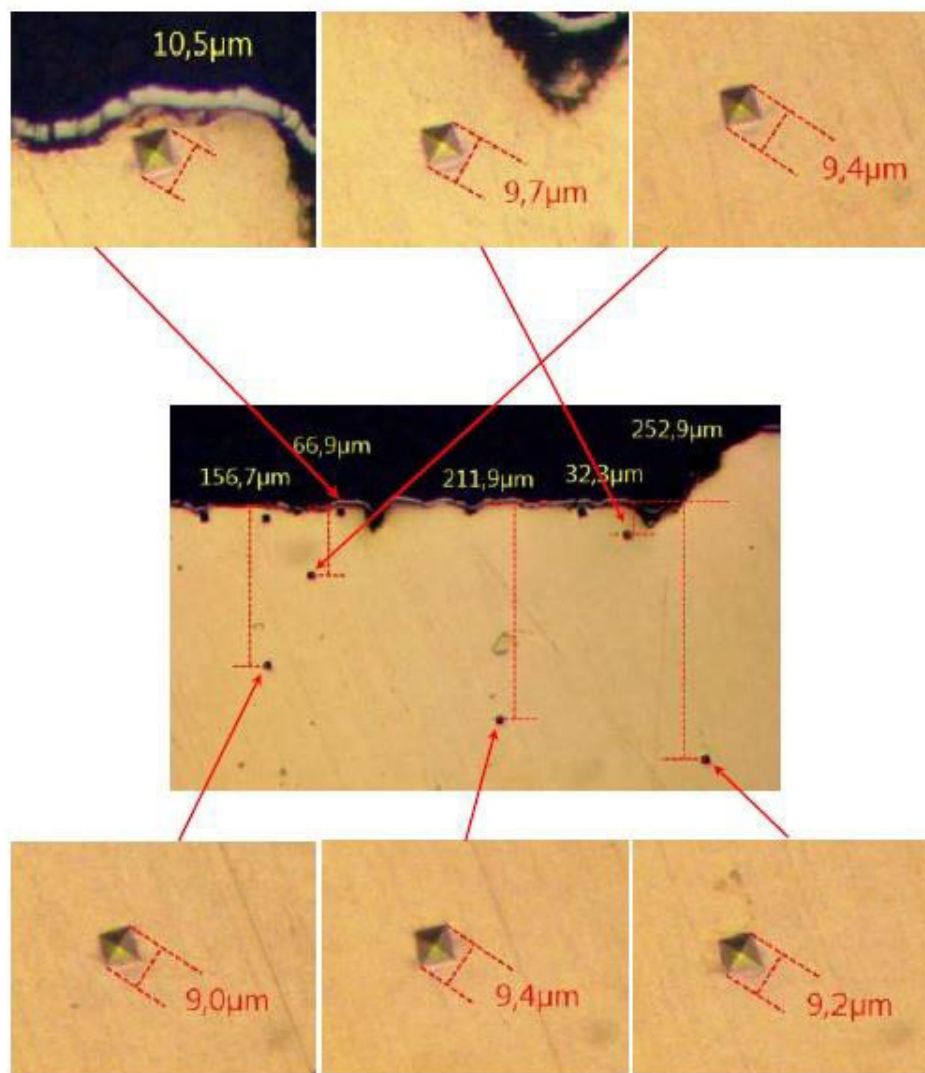


Рис. 2.4. Зміна розміру відбитків індентора, одержаних при визначенні мікротвердості матеріалу основи залежно від відстані від дна ДЕ

### 2.6.2. Методика оптичних досліджень якості гравійованих штрихів та фарбових відбитків інтагліодруку.

Дослідження металографічних шліфів, поверхні ПЕ, ДЕ та фарбових відбитків ІД здійснено за допомогою оптичної мікроскопії з використанням [1–3, 5–7, 11, 13] [1, 5–7, 9–11, 13]:

- 1) оптичного мікроскопа віддзеркаленого світла *Neophot-32*;
- 2) монокулярного цифрового мікроскопа *МОЦ–45 Мікротех* із системою візуалізації *Micam* зі збільшенням  $45\times$  у відбитому та пропускну світлі, котрий дозволяє фотофіксацію і визначення ширини надрукованих штрихів за допомогою програмного забезпечення;
- 3) тринокулярного мікроскопа *Sigeta Biogenic Lite* із системою візуалізації *Sigeta UCMOS* зі збільшенням  $40\text{--}2000\times$  у відбитому світлі.

### 2.6.3. Методика профілометричних досліджень якості гравійованих штрихів.

Дослідження топології ГШ форми здійснено методом профілографування [7]. Цей метод ґрунтується на контактному аналізі ділянки поверхні ДФІ з ГШ тонкою голкою, що дає змогу отримати збільшене зображення профілю поверхні за допомогою профілометра. В таких приладах досліджувана поверхня аналізується алмазною голкою з радіусом закруглення  $10\text{--}12,5$  мкм [137]. Оскільки такий розмір алмазної голки є обмеженням на застосування методу, нами досліджено текстуру поверхні найширших ГШ № 15, 16, 17, 18, 19, 20 (табл. 2.5) та ПЕ між ними, а також дна вказаних ДЕ. Довжина трасування на ділянках ПЕ та ДЕ становила  $3200$  мкм, довжина трасування дна ДЕ –  $100$  мкм. Встановлено параметри шорскості [137]  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ . Для кожного зразка було виміряно 10 досліджуваних зон, виміри здійснювались перпендикулярно до штрихів. Вимірювання шорсткості

здійснювалося на модулі для вимірювання фасонних профілів, що являє собою профілометр, під'єднаний до ПК [138].

#### **2.6.4. Методика електронно-мікроскопічних досліджень якості гравійованих штрихів.**

Дослідження морфології та елементного складу поверхні ПЕ та ДЕ МФ 2 (без ЗП) [1, 9, 13] та МФ 3 (всі види плашок) здійснено за допомогою електронної мікроскопії з використанням растрового електронного мікроскопа TESCAN MIRA 3, з встановленим енергодисперсійним рентгенівським спектроскопом Oxford Instruments X-max 80 мм<sup>2</sup>. Елементний склад досліджувався: Spectrum 1 – інтегрально в полі зору мікроскопу (300x300 мкм); Spectrum 2 (3, 4) – локально з відповідним зменшенням поля досліджень (рис. 2.5).

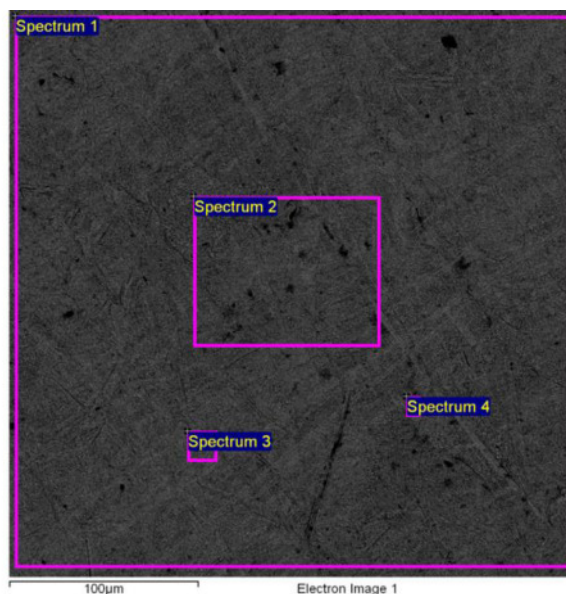


Рис.2.5. Поля визначення елементного складу поверхні зразків [1].

#### **2.6.5. Розроблення алгоритму і методики автоматизованого оцінювання геометричних параметрів гравійованих штрихів.**

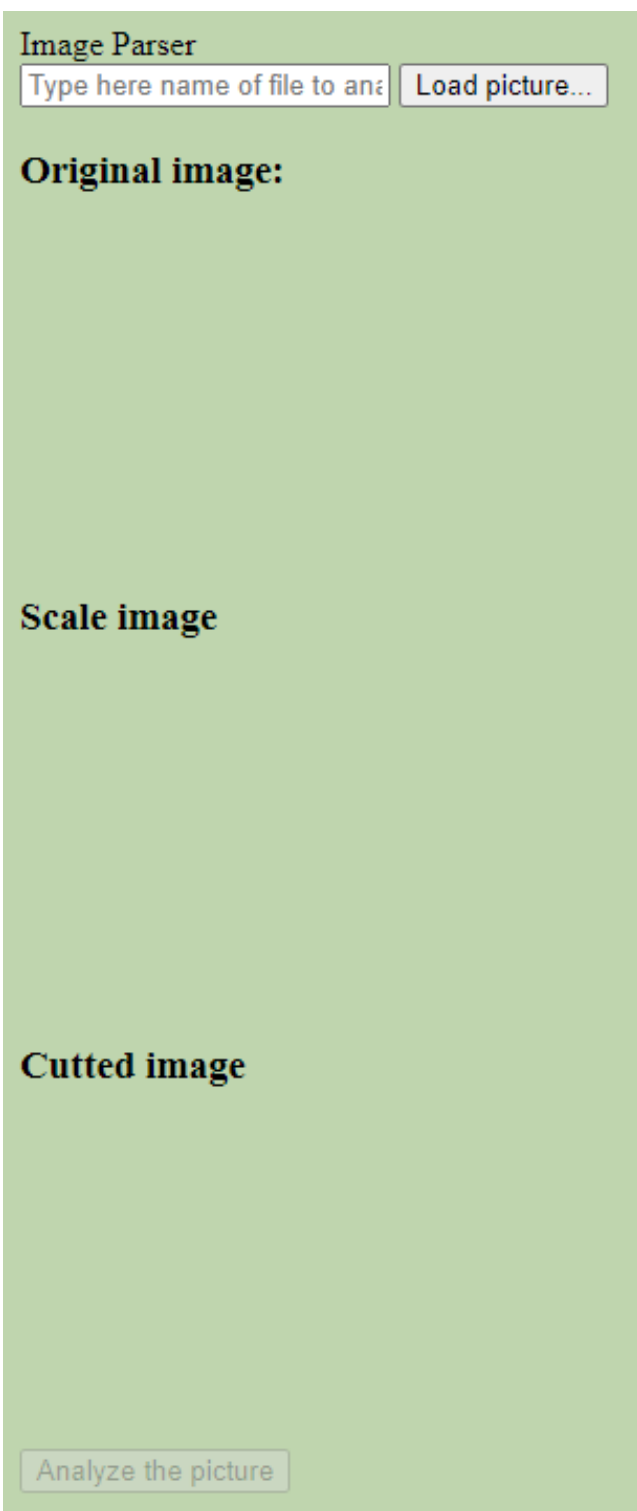
Первинні дослідження графічних файлів шліфів ГШ показали, що всі ГШ зразка мають відхилення від заданого геометричного профіля і зазвичай

є несиметричними. Це не дозволяє використати задані параметри штриха для обчислення його фарбоємності, що визначається, зокрема, й площею перетину. Тому, враховуючи велику кількість графічних зображень шліфів, постала необхідність розробити методику, яка б з використанням розробленого програмного забезпечення дозволила на основі різниці кольорів пікселів латуні та чорного тла шліфів автоматизовано встановити реальні параметри профілю [5].

Аналіз графічних файлів шліфів ГШ дозволяє визначити їх характерні риси: зображення утворені переважно двома типами пікселів – світлими (латунь) та темними (тло для фотографування), тому, враховуючи суттєву криволінійність стінок штрихів, а також часто наявну асиметрію, площу перетину ГШ форми доцільно встановити, аналізуючи саме кількість та розмір (за масштабом) темних пікселів зображення. Це дозволяє зробити висновок про доцільність часткової автоматизації процесу оцінювання площі перетину ГШ форми, коли розроблена система може використовуватись для виконання основних математичних обрахунків, однак потребує корегування налаштувань для кожного окремого графічного файлу фахівцем.

Для вирішення поставленого завдання розроблено алгоритм оброблення зображення, на основі якого потім створено додаток з робочою назвою *DLEScript* [5], для чого використано мову програмування *JavaScript*, за допомогою якого можлива маніпуляція *Canvas* з використанням тегу `<canvas>`, що є елементом специфікації HTML5 [139]. Основним призначенням *Canvas* є створення двовимірних растрових зображень. Такий набір інструментів дозволить маніпулювати отриманими зображеннями для пошуку площі перетину гравійованого штриха [5].

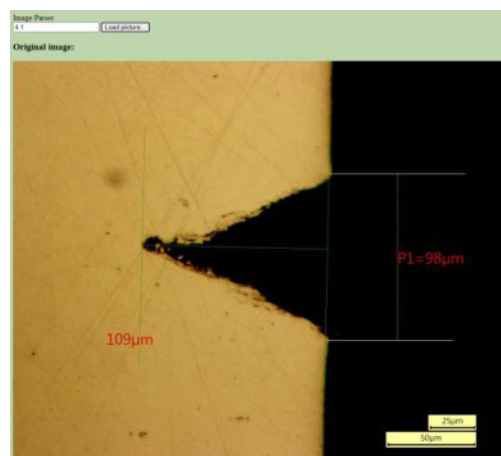
Алгоритм оброблення зображення і роботи додатку *DLEScript* [5], представлений на початковому інтерфейсі додатку (рис. 2.6 а).



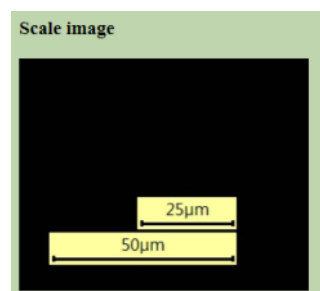
а)



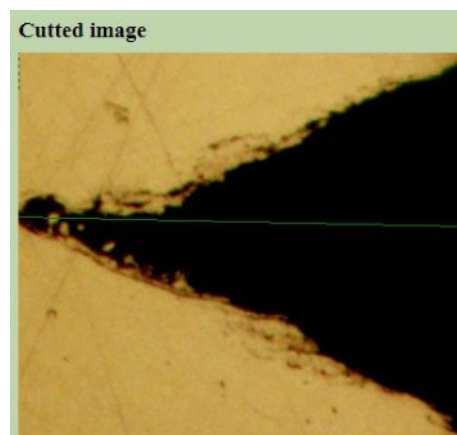
б)



в)



г)



д)

Рис 2.6. Алгоритм роботи і інтерфейс додатку *DLEScript*: а - початковий інтерфейс; б – пошук файлу зображення; в - готове до опрацювання зображення; г - масштабування зображення; д - зображення після відсікання [5].

Алгоритм реалізується так [5]: 1) етап *Image Parser* (рис. 2.6 б) пошук зображення для аналізу за іменем графічного файлу, який потрібно проаналізувати; 2) етап *Original image* (рис. 2.6 в) – завантаження зображення для аналізу у вікно додатку після його знаходження; 3) етап *Scale image* (рис. 2.6 г) встановлення масштабу зображення – пошук на зображенні у вікні програми масштабної лінійки для правильного визначення розміру пікселя; 4) етап *Cutted image* (рис. 2.6 д) – виокремлення частини зображення для оброблення. Щоб отримати шукану площу, програмно необхідно видалити зайві частини на зображенні, що аналізується. Для цього потрібно здійснити пошук горизонтальних ліній, що відсічуть ліву та праву непотрібні для аналізу частини. Ліва частина зображення являє собою масив латунного листа від дна гравійованого штриха, а права – окреслюється площиною пробільних елементів та продовжується темним тлом [5]; 5) етап *Analyze the picture* (кнопка запуску обчислень, рис. 2.6 а) – аналіз кількості темних пікселів та визначення їх сумарної площі з урахуванням масштабу, коли після обробки зображення з урахуванням встановленого за масштабом на попередніх кроках розміру пікселя зображення визначаємо площу перетину ГШ за кількістю темних пікселів [5]. Інтерфейс орієнтований на роботу із одним зображенням.

Встановлення кута нахилу стінок штрихів для модельної форми 3 також проведено за допомогою додатку *DLEScript* [5]. Маніпулювання зображенням для пошуку лівого та правого кута нахилу гравійованого штриха потребує підтримки фахівця, завданням якого є визначення координат (у пікселях) точок, які утворюють кути штриха (лівий і правий) (рис. 2.7). Фахівець має контролювати і, за потреби, корегувати напрямок лінії, яка характеризує кут. На рис. 2.7  $X_{lb}, Y_{lb}, X_{lt}, Y_{lt}, X_{rb}, Y_{rb}, X_{rt}, Y_{rt}$  – координати лівих та правих нижніх та верхніх точок, відповідно, що задають напрямок сторони кута, під яким ГШ має нахил до горизонталі поверхні форми.



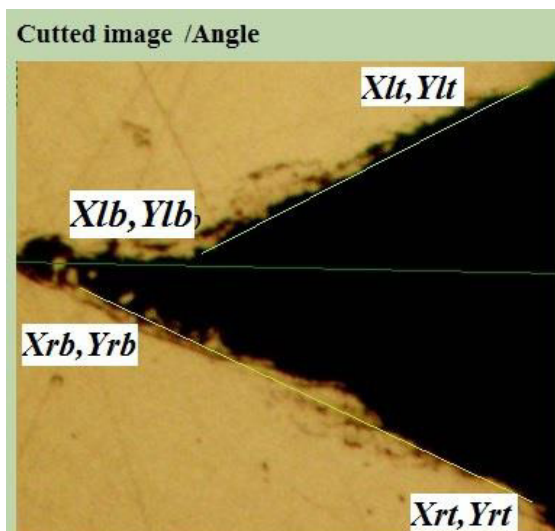


Рис 2.7. Зображення після відсікання з позначенням крайових точок ліній кутів штрихів.

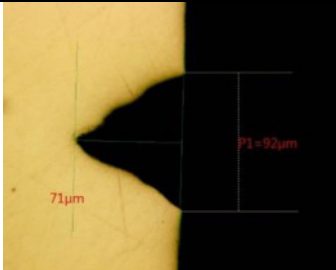
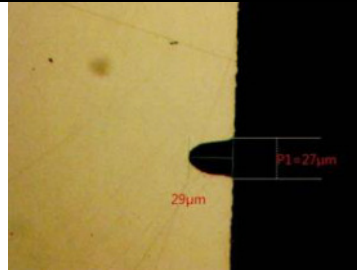
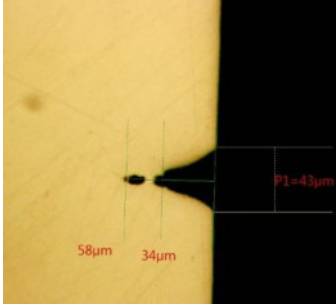
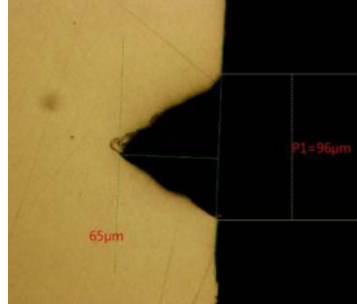
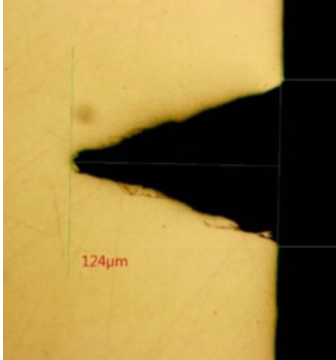
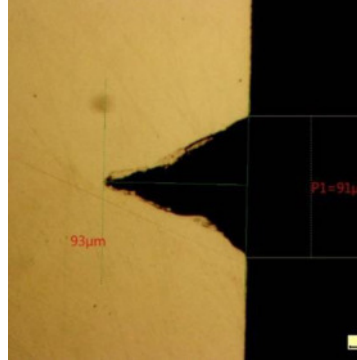
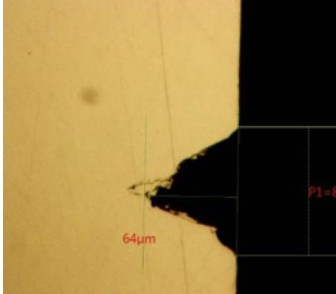
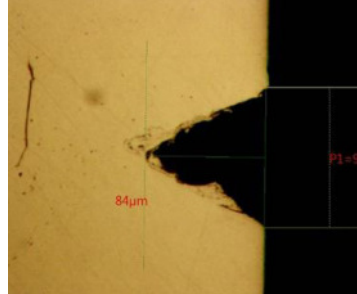
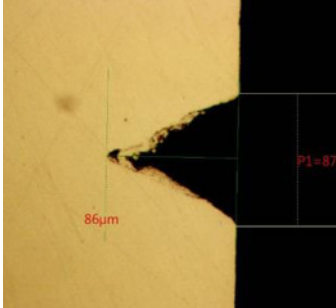
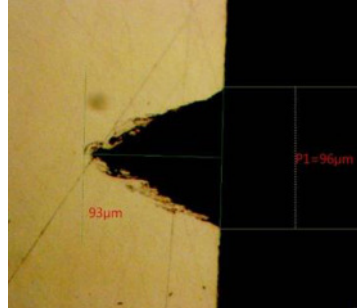
#### **2.6.6. Методика експертного оцінювання якості поверхні гравійованих штрихів**

Для урахування стану поверхні ГШ як важливого фактору забезпечення зносостійкості форм DLE+PVD було розроблено принципи експертного бального оцінювання поверхні ГШ на основі порівняння зі зразком за 5-бальною шкалою, принципи якого наведено в табл. 2.7 [6].

#### **2.7. Методика дослідження адгезійної стійкості захисного покриття.**

Методи оцінки адгезійної міцності ЗП ґрунтуються на механічному руйнуванні з'єднання на межі «адгезив – основа». Адгезію зносостійкого PVD-покриття до латунної основи визначали за методикою, наведеною в [140]. Для випробувань використовували зразки з ПЕ та ДЕ. Після проведення випробувань, з огляду на малу товщину покриття з них виготовляли металографічні шліфи, які досліджували із застосуванням мікроскопа віддзеркаленого світла *Neophot-32* зі збільшенням  $\times 400$ .

Таблиця 2.7. Система бальної оцінки форми стану поверхні стінок ГШ форми без ЗП [6]

Оцінка	Ознаки	Приклади еталонних зразків	
0	Немає тріщин і сколів. Гладкі, оплавлені стінки.		
1	Переважає гладкі, оплавлені стінки. Незначна видима шорсткість стінок Можливі незначні відшарування.		
2	Переважає гладкі, оплавлені стінки. Незначна видима шорсткість стінок. Можливі незначні відшарування.		
3	Тріщини на понад половині периметру штриха. Помітні відшарування		
4	Тріщини практично по усьому периметру штриха. Значні відшарування		

## Висновки до розділу 2

1. Розроблено загальний алгоритм проведення досліджень щодо підвищення якості ДФІ: а) дослідження тиражестійкості форми DLE+PVD у виробничих умовах, дослідження стану ГШ після виробничих випробувань, встановлення взаємозв'язку параметрів ГШ з якістю відбитків; б) теоретичне дослідження та феноменологічне моделювання процесів в друкарській секції ІД; в) дослідження якості гравіювання штрихів з різними геометричними параметрами на різних режимах оброблення та визначення рекомендованих профілів штрихів; г) дослідження впливу режимів попереднього очисного травлення латунної основи на стан поверхні форми до PVD; д) дослідження якості гравіювання штрихів на різних режимах оброблення; е) визначення засобів забезпечення якості ДФІ.

2. Обрано матеріали та основне технологічне обладнання, розроблено ТП виготовлення модельних форм ІД, схеми послідовного оброблення зразків.

3. Для дослідження якості гравіювання ДЕ передбачено використання як стандартних методів дослідження (підготовки металографічних шліфів, оптичної металографії, вимірювання мікротвердості, адгезійної стійкості покриттів, профілографування, оптичної та електронної мікроскопії), так і розроблені методики автоматизованого оцінювання геометричних параметрів ГШ (глибини, ширини, площі перетину, кута нахилу стінок штрихів) з використанням методів комп'ютерного бачення, а також розроблену методику експертного оцінювання якості поверхні ГШ.

### **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНІ ТА ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДРУКУВАЛЬНИХ ТА ПРОБІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТИРАЖЕСТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ ДРУКУВАННЯ ФОРМ ІНТАГЛІОДРУКУ, ВИГОТОВЛЕНИХ ПРЯМИМ ЛАЗЕРНИМ ГРАВІЮВАННЯМ З НАПИЛЕННЯМ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ.**

#### **3.1. Випробування повнорозмірних форм інтагліодруку у виробничих умовах.**

Дослідження проведено щодо базового (повнорозмірного) варіанту МФ 1, виготовленої за технологією DLE+PVD (підрозділ 2.4.1).

Перед монтажем форм (3 шт.) на ФЦ аркушевої друкарської машини *KBA Notasys S.A. Super-Orlof-Intaglio* було проведено візуальне оцінювання суцільності і цілісності ЗП нітриду хрому, яким встановлено, що шар нітриду хрому повністю покрив робочу поверхню всіх МФ.

Також було проведено механічні тести адгезійної стійкості ЗП нітриду хрому (підрозділ 2.7). Дослідження показали, що у всіх випадках при згинанні зразків з ПЕ відбувається руйнація (розтріскування) ЗП нітриду хрому. Разом з цим на жодному зі зразків не було виявлено відшарування PVD-покриття від основи, що свідчить про досить високий рівень адгезії між ними (рис. 3.1).

Під час проведення робіт з прилагодження форм в друкарській машині при встановлених нових декелях та попередньо заданих низьких значеннях тиску у друкарській парі було виявлено ділянки відшарування ЗП на бічних ділянках (поза зоною друку) ДФІ (рис. 3.2). Такий тип відшарування покриття може бути пов'язаний не лише з впливом тиску в ДК, але й з вигином та закріпленням форм на ФЦ.

Після завершення прилагодження форм, незважаючи на незначне відшарування хрому від поверхні форми поза межами області друку, що не впливало на якість відбитків, було віддруковано 7760 аркушів (2587/2587/2586 на форму).

Після проходження вищезазначеного обсягу було виявлено дефект друкування – фарбові плями на аркушевідбитках ІД. Огляд форм і оцінка

якості ЗП показали, що це було спричинено відшаровуванням ЗП в окремих ділянках зони друкування (рис. 3.3 а).

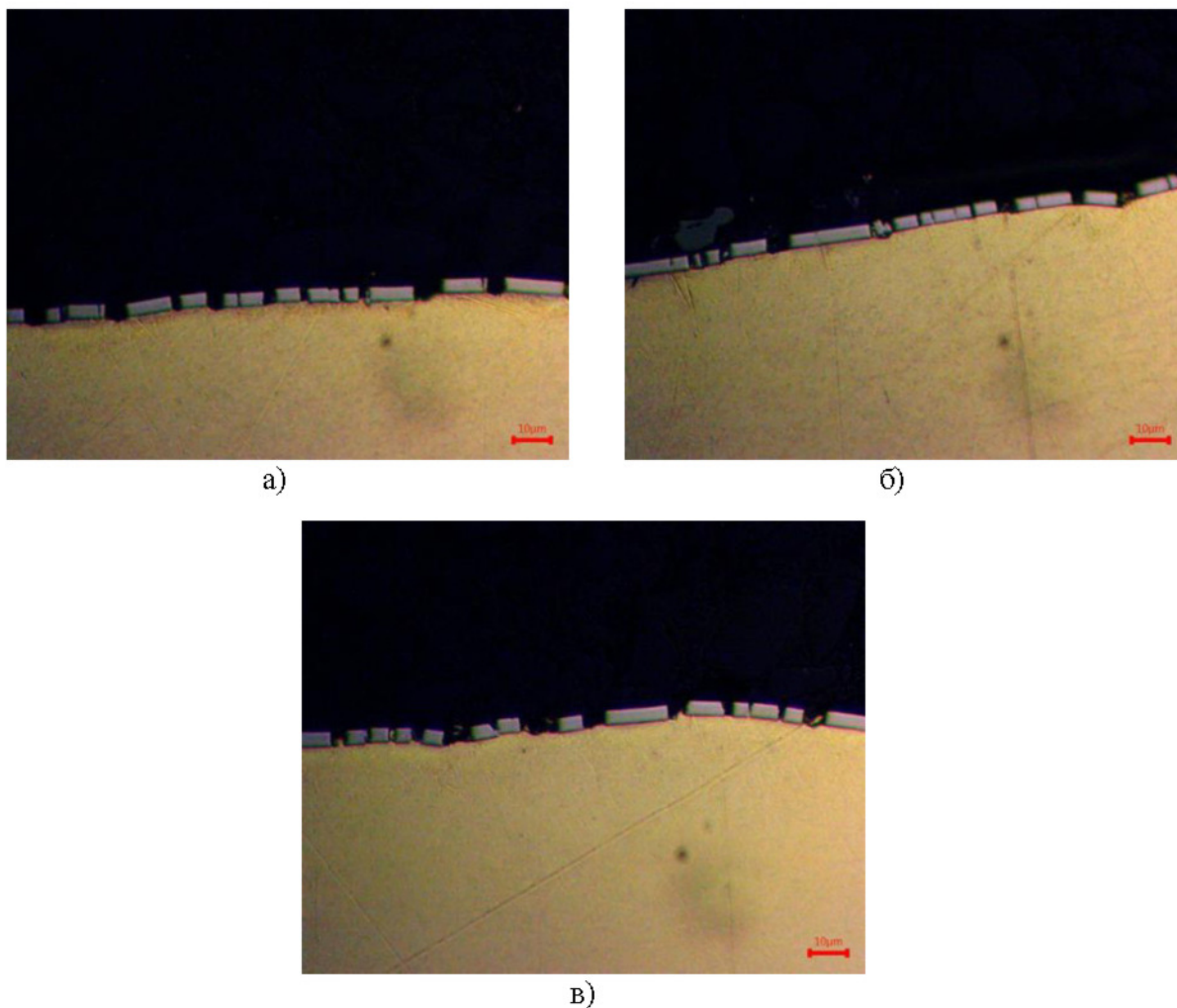


Рис. 3.1. Мікрофотографії поперечних перетинів пробільних елементів МФ після випробувань адгезії методом згину ( $\times 400$ ): а, б – різні ділянки ПЕ до прилагоджування; в – різні ділянки ПЕ після прилагоджування і друкування.

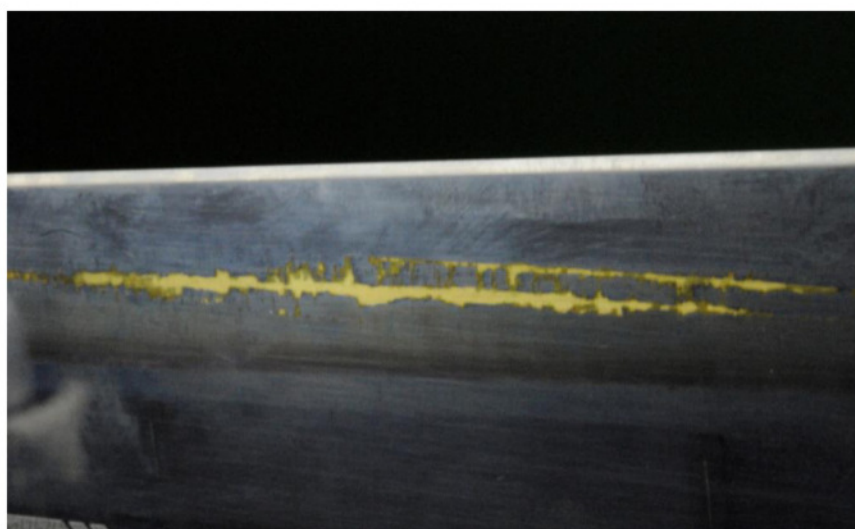
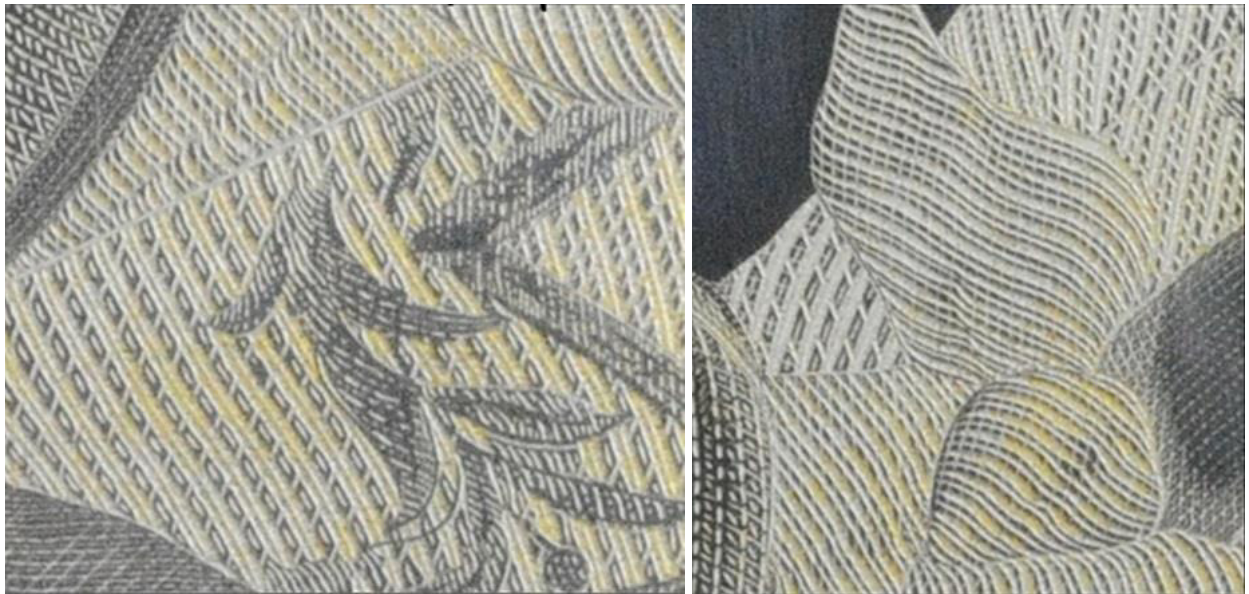


Рис. 3.2. Відшаровування ЗП на МФ 1 поза зоною друку після прилагодження.





а)

б)

Рис. 3.3. Відшаровування ЗП на МФ 1 в зоні друку: а – після першого пробного друкування 2587 арк./форму, б – після перехромування і другого пробного друкування 12000 арк./форму.

Ці результати стали підставою для ухвалення рішення щодо демонтажу форм та їх перехромування. Оскільки виготовлено за базовим процесом (підрозд. 2.4.1) чотири форми, то одна зі зношених форм була використана для досліджень стану ДЕ і ПЕ форми.

Розхромовування (зняття шару покриття нітриду хрому) було здійснено за допомогою розчину F-49 («Розчин для зняття хромових покриттів з латунних та мідних поверхонь», розд. 1, табл. 1.2). Повторне нанесення ЗП здійснено електрохімічним способом (підрозд 1.3.1).

Перехромовані МФ інтагліодруку були повторно встановлені на друкарську машину *KBA Notasys S.A. Super-Orlof-Intaglio*. Після проведення прилагоджувальних робіт, в процесі яких не спостерігалися пошкодження ЗП, розпочато друкування продукції.

Протягом друкування спостерігалось незначне відшаровування ЗП по краях ДФІ. Після проходження обсягу у кількості 36 000 аркушів (по 12 000 аркушів на кожну форму) виявлено поступове відшаровування ЗП в зоні зображення (Рис. 3.3.б) на дні ДЕ, що призвело до дефектів при друкуванні у вигляді фарбових плям.

Таким чином, виявлено, що зниження тиражестійкості форм, виготовлених за технологією DLE+PVD, спричиняється недостатньою адгезійною стійкістю ЗП, нанесеного за технологією PVD: тиражестійкість форм з гальванічним покриттям практично в 4,6 рази вище – 12000 арк./форму, тоді як для PVD покриття – до 2600 арк./форму. Також підтверджено, що латунна основа як матеріал для лазерного гравіювання дозволить отримати прийнятні з погляду тиражестійкості форми.

### **3.2. Дослідження стану поверхні та приповерхневих шарів друкувальних і пробільних елементів форм інтагліодруку**

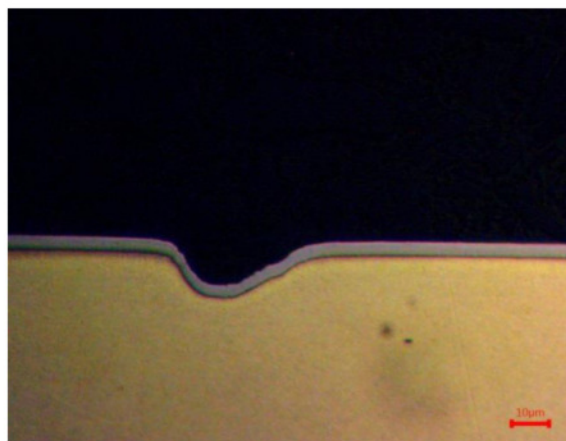
Досліджено мікрошліфи тестового багатотонового зображення та плашок (МФ 1, підрозд. 2.4.1). Під час проведених досліджень зношеної в реальних умовах друкування ДФІ встановлено, що збережена адгезійна міцність нітрид-хромового PVD покриття на ПЕ форми як тестового багатотонового зображення (рис. 3.4, 3.5) так і плашок (рис. 3.6).

Поверхня дрібних ДЕ (глибиною до 10 мкм) рівномірно покрита ЗП як для асиметричного штриха (рис. 3.4 а), так і для симетричного (рис. 3.4 б). Для таких ГШ поверхневий шар латунної основи візуально не має відмінностей від поверхневого шару ПЕ. Це підтверджує висновки [69] про високу якість форм DLE для дрібних елементів форми, які мають гіршу якість при традиційних технологіях.

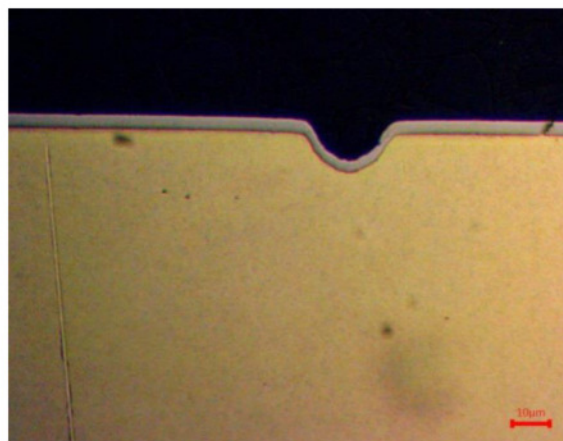
Важливо, що, незважаючи на те, що профілі всіх ДЕ плашок запроектовано прямокутними (табл. 2.4, Додаток В), реально отримані профілі є трикутними (для ширини штрихів до 100 мкм, рис. 3.6 а, б) чи трапецієподібними (понад 100 мкм, рис. 3.6 в-є).

Інша ситуація має місце для глибших ГШ: поверхня таких ДЕ (глибина яких від 10 мкм), має суттєві порушення ЗП (рис. 3.4 в-є). Особливо виразно це видно на асиметричному штриху (рис. 3.4 в), де менш глибока частина штриха (глибина 10 мкм) не має порушень покриття, а частина штриха глибиною 20 мкм має відшарування покриття. Причому і згаданий ДЕ (рис. 3.4

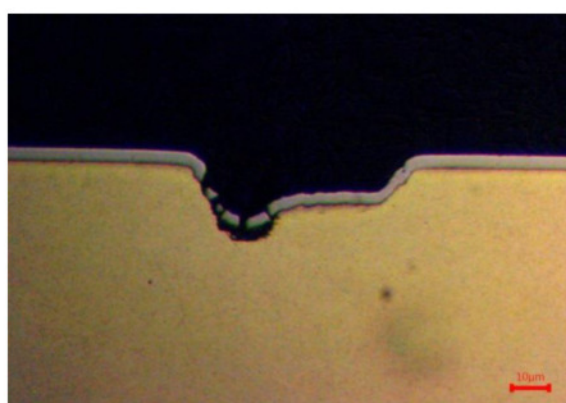
в), і інші демонструють незадовільну адгезію ЗП до стінок штриха практично від рівня ПЕ. У цих штрихів ЗП має різну товщину, розриви, відшарування аж до повної відсутності покриття.



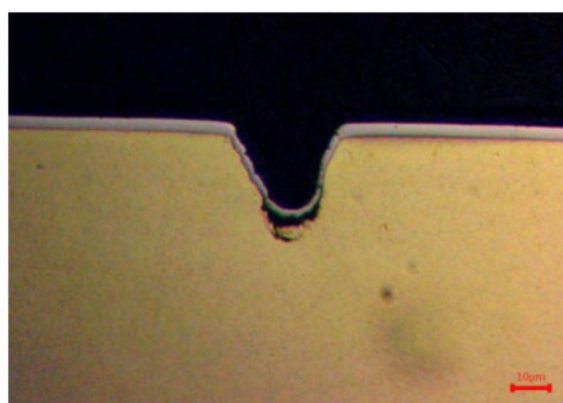
а



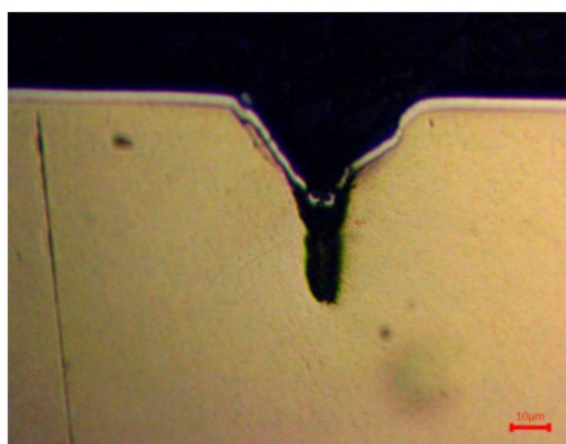
б



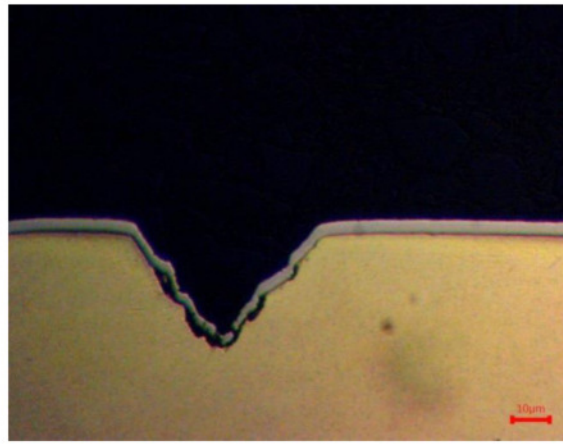
в



г



д



е

Рис. 3.4. Мікрофотографії поперечних перетинів середніх та дрібних друкувальних ДЕ ( $\times 400$ ). Тестове багатотонне зображення МФ 1.



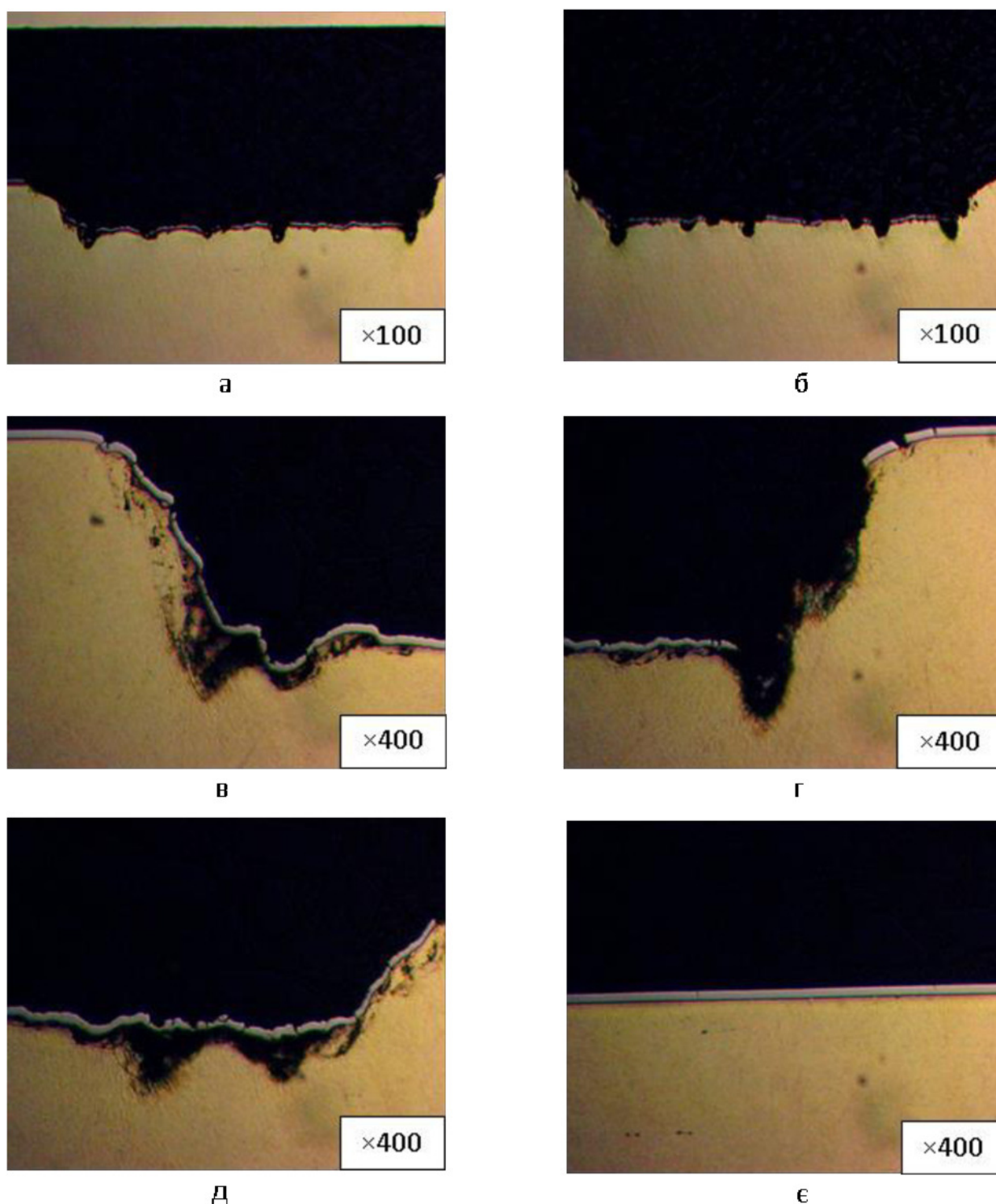
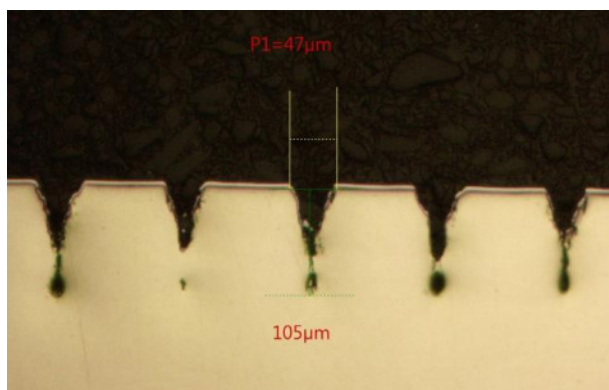


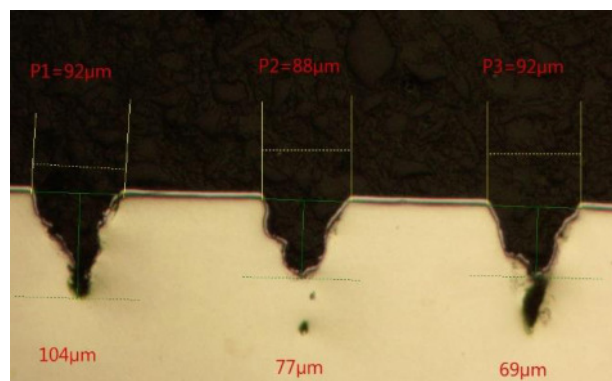
Рис. 3.5. Мікрофотографії поперечних перетинів великих ДЕ та ПЕ форми: а, б, в, г, д – ДЕ та їх ділянки; є – ПЕ. Тестове багатотонове зображення МФ 1.

Поверхневий шар матеріалу основи у безпосередній близькості від ДЕ середніх та крупних розмірів є тріщинуватим, пористим та неоднорідним (рис. 3.4 в–є, 3.5, 3.6), його мікроструктура відрізняється від мікроструктури латуні (рис. 3.7), що знаходиться поза зоною лазерного гравіювання, а мікротвердість

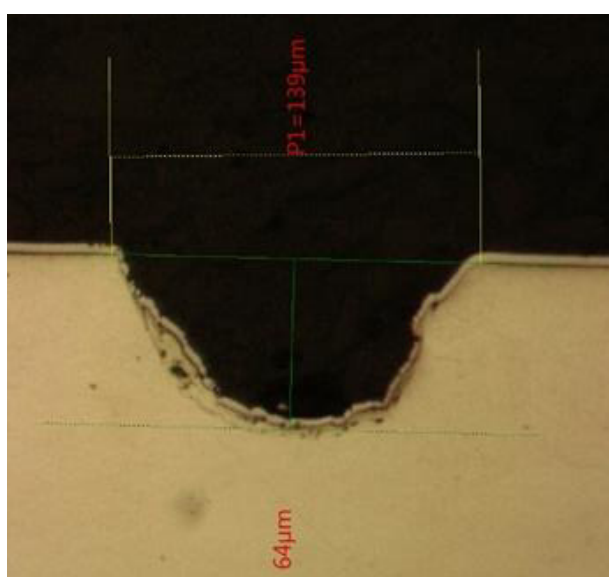
є меншою на 15–40 % від середнього значення мікротвердості латунної основи (табл. 3.1), визначеної на глибині від площини ПЕ (підрозд. 2.6, рис. 2.4).



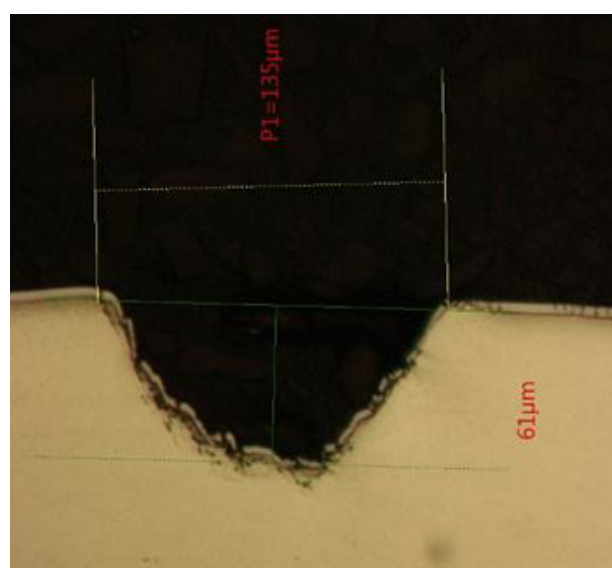
а)



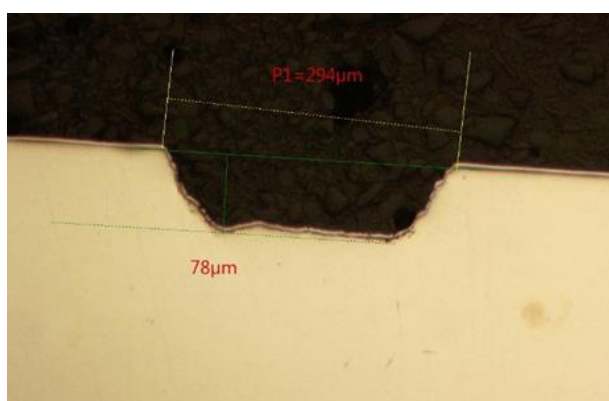
б)



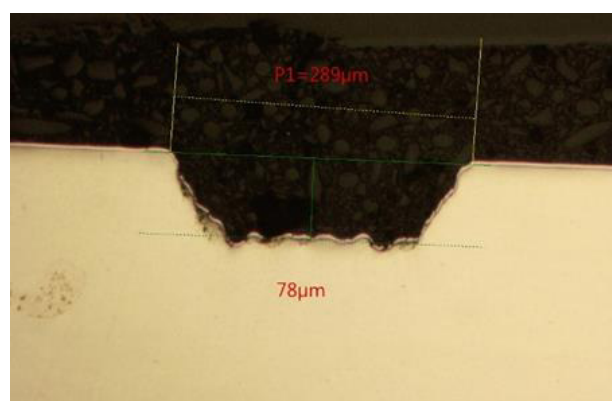
в)



г)



д)



е)

Рис. 3.6. Мікрофотографії поперечних перетинів ДЕ плашок МФ 1: а – плашка 1,  $\times 100$ ; б, – плашка 2,  $\times 100$ ; в, – плашка 3,  $\times 200$ ; г – плашка 4,  $\times 200$ , д – плашка 5,  $\times 100$  [3]; е – плашка 6,  $\times 100$  [3].

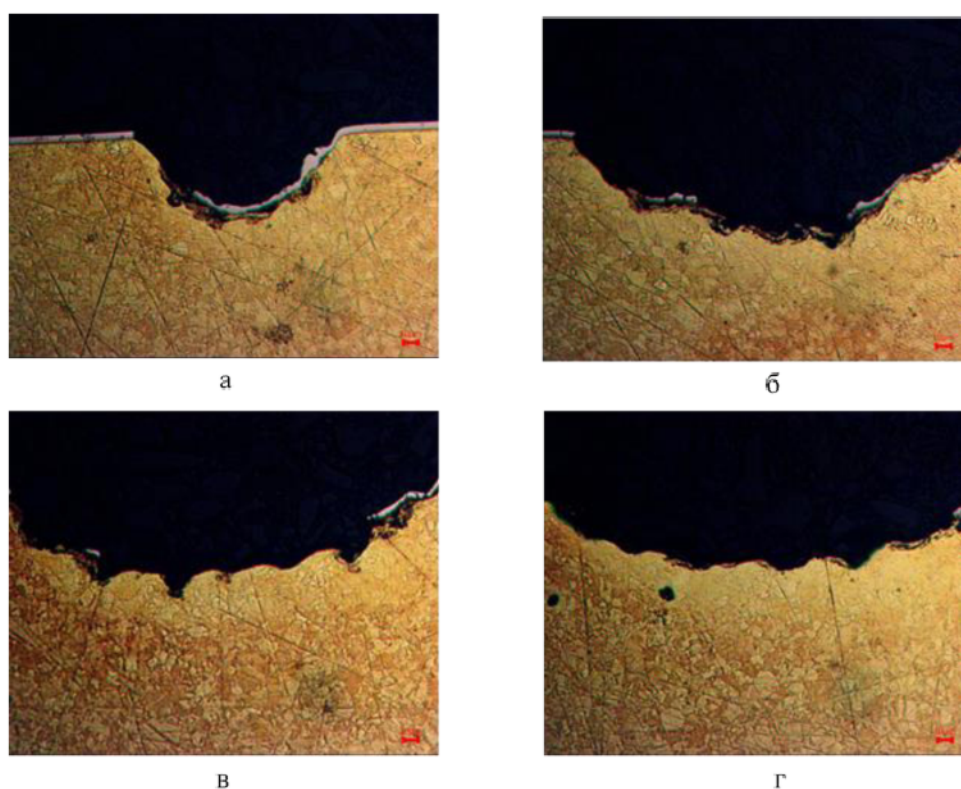


Рис. 3. 7. Мікроструктура матеріалу основи форм в зоні ДЕ ( $\times 200$ )

Таблиця 3.1. Мікротвердість латунної основи залежно від відстані від поверхні, що було піддано лазерній обробці

№	Відстань від поверхні, мкм	Діагональ відбитка, мкм	Мікротвердість, МПа
1	на поверхні ( $\geq 5$ )	10.5	120
2	32	9.7	140
3	67	9.4	160
4	157	9	197
5	212	9.4	180
6	253	9.2	192

Дно ДЕ має суттєві нерівності, що сприяє погіршенню адгезії захисного PVD покриття: спостерігається суттєве відшарування ЗП [3]. Дослідження мікрофотографій (рис. 3.8) поверхні дна ДЕ показало, що нерівності мають регулярний характер, що спричинено особливостями лазерного оброблення поверхні [3]. Зазначені особливості стану поверхні ДЕ, ймовірно, є наслідком



знеміцнення приповерхневих шарів через лазерне гравіювання. Найбільш ймовірною причиною є надмірно інтенсивні режими лазерної обробки, які потребують корегування.

Геометричні розміри нерівностей встановлено за допомогою профілографування поверхні ПЕ і ДЕ форм. Результати вимірювань наведено в табл. 3.2 [7].

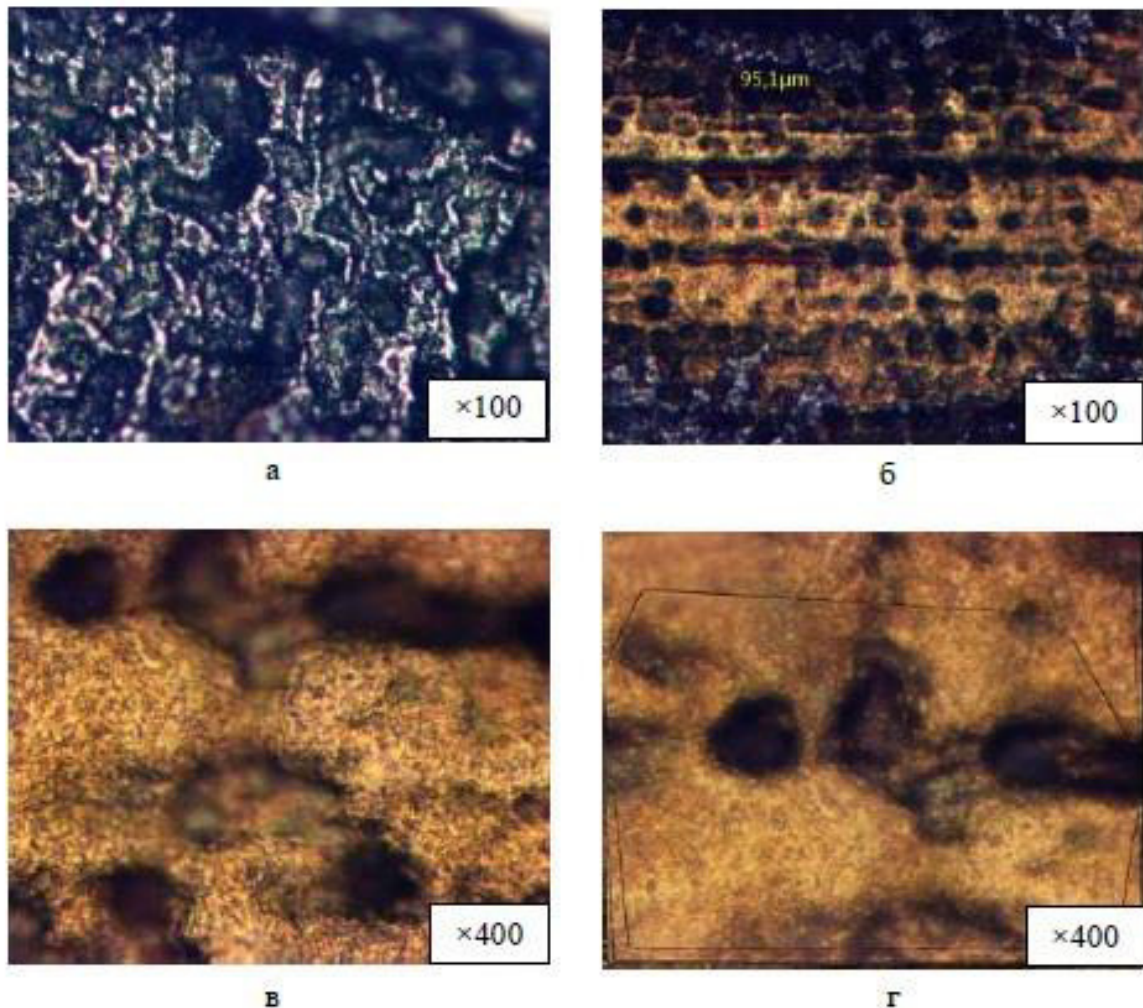


Рис. 3.8. Мікрофотографії дна великих друкарських елементів інтагліоформ: а - дно друкарського елемента зі зносостійким PVD-покриттям; б, в - дно друкарського елемента на ділянці зруйнованого PVD-покриття; г – 3-D зображення дна друкарського елемента зі зруйнованим зносостійким PVD-покриттям [7]

Типові профілограми поверхні досліджуваних ДФІ на ділянках ПЕ та ДЕ (довжина трасування 3200 мкм) показано на рис. 3.9, а типові профілограми дна ДЕ (довжина трасування 100 мкм) – на рис. 3.10 [7].

Таблиця 3.2. Параметри профіля дна ДЕ [7]

№ зразка	Параметри шорскості		
	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$
1	2,54	10,18	10,56
2	0,99	3,94	5,1
3	2,52	10,06	15,0
4	2,29	10,1	10,7
5	0,95	3,79	4,46
6	0,95	3,83	5,58

Аналіз профілограм поверхні досліджуваних ДФІ на ділянках ПЕ та ДЕ показує, що шорсткість ПЕ суттєво нижча, ніж шорсткість дна ДЕ, що повністю кореспондується з даними досліджень мікрошліфів та мікроскопії дна ДЕ [7].

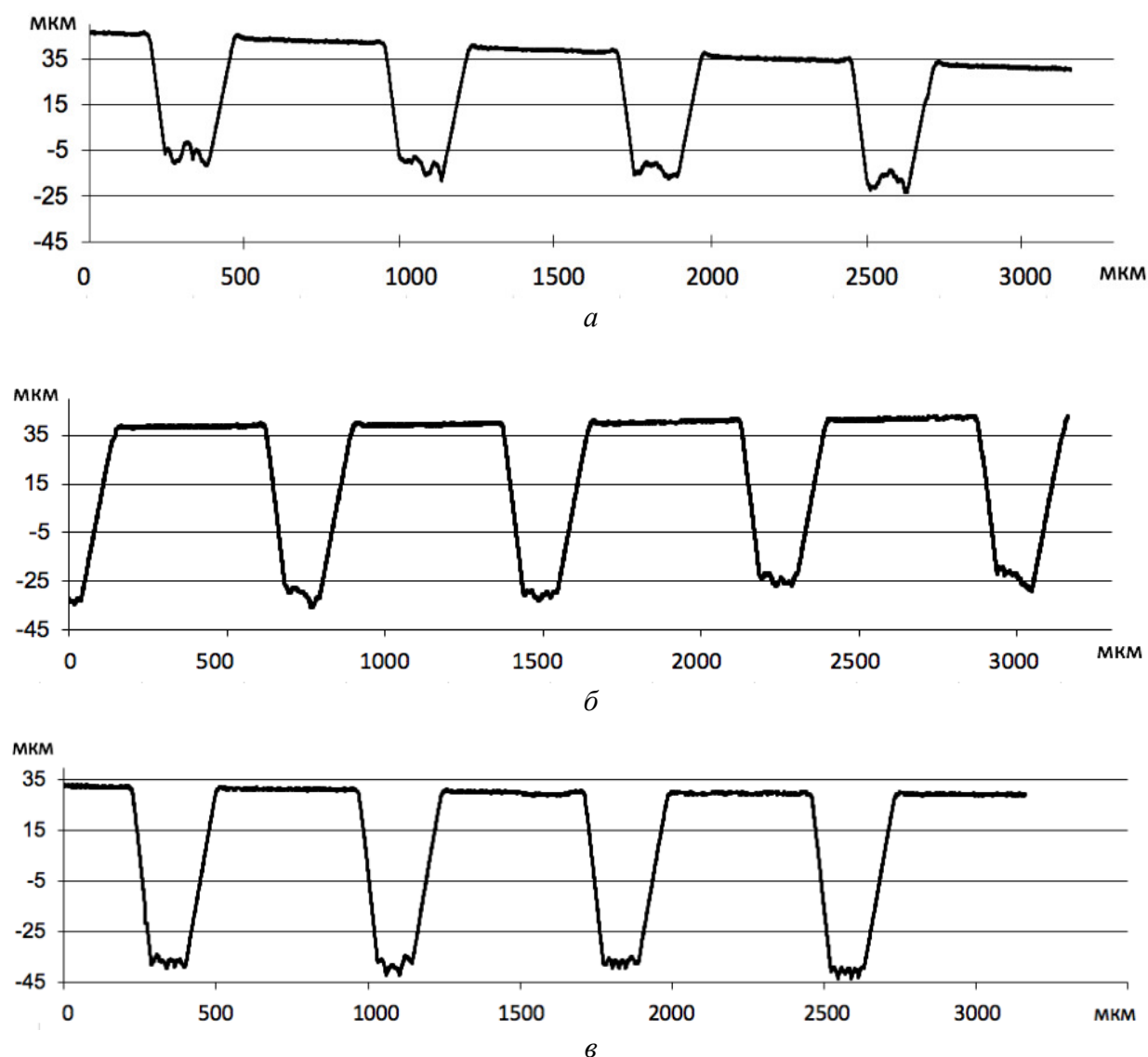


Рис. 3.9. Типова профілограма поверхні ДФІ на ділянках ПЕ та ДЕ (довжина трасування 3200 мкм): а – зразок 1; б - зразок 5; в – зразок 6 [7].

Обмежена роздільна здатність методу не дозволила достовірно оцінити шорсткість стінок ДЕ. Тому в подальших дослідженнях доцільно застосувати методи оптичного профілографування. Також планується дослідити шорсткість поверхні усіх елементів форми до напилення захисного PVD покриття [7].

Таким чином, наявний стан поверхні, структура та властивості поверхневих шарів латунної основи в зоні ДЕ не забезпечують умов для якісного нанесення PVD-покриття що в свою чергу сприяє швидкому руйнуванню форм.

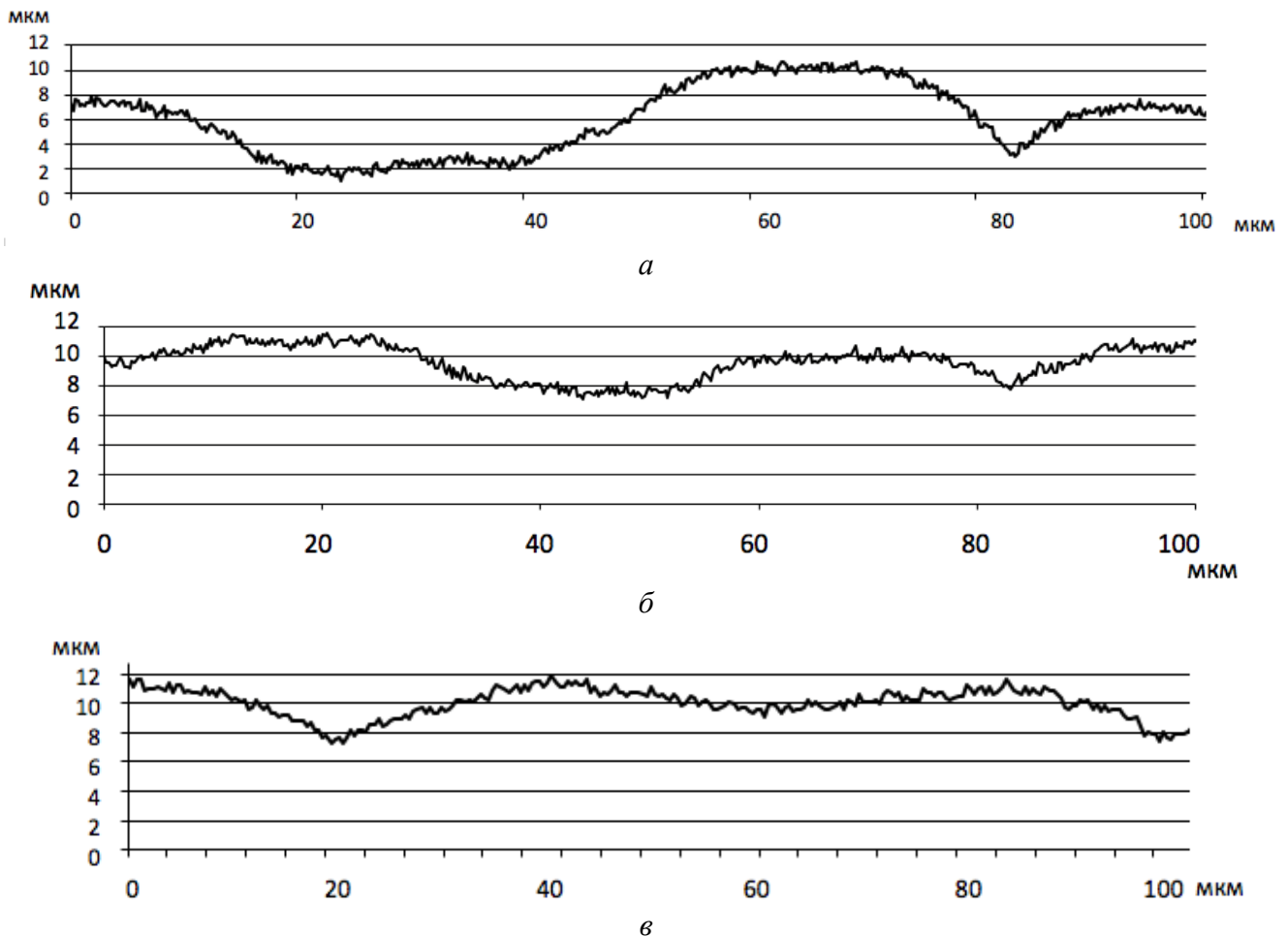


Рис. 3.10. Типова профілограма дна ДЕ (довжина трасування 100 мкм): а – зразок 1; б – зразок 5; в – зразок 6 [7].

Дослідження ПЕ свідчать, що забезпечення відповідної якості поверхні латунної основи (відсутності дефектів у поверхневих шарах та відповідна ступінь попередньої підготовки (очищення) перед нанесенням PVD-

покриття) створюють умови для одержання якісної робочої поверхні форм. Тому для підвищення якості латунних форм, одержаних методом DLE+PVD доцільно визначити режими та умови лазерної обробки, які забезпечували б одержання рівномірного профілю поверхні ДЕ та мінімальний вплив лазерного випромінювання на структуру та властивості поверхневих шарів латунної основи незалежно від розмірів ДЕ.

Також важливо забезпечити очищення поверхні форм від напливів після DLE перед нанесенням PVD-покриття, яка б забезпечувала видалення забруднень як з пробільних, так і з друкувальних елементів.

### **3.3. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну та градаційну точність відбитків**

Наведені вище результати дослідження шліфів ГШ плашок МФ 1, що відрізнялися запроєктованим профілем, а саме різним співвідношенням глибини до ширини ДЕ (у діапазоні від 0,2 до 1,2), показало, що всі ГШ зразка мають суттєві відхилення від заданого геометричного профіля, зазвичай є несиметричними та із різною мікрогеометрією поверхні гравіюваних елементів. Важливо встановити, як отримані реальні профілі ДЕ впливають на якість фарбового шару ІД [10].

Пробний наклад з використанням повнорозмірних МФ 1 (підрозд. 2.4.1) було видруковано з використанням матеріалів для друкування (підрозд.2.2.2) задля дослідження взаємозв'язку параметрів ДФІ з показниками якості фарбового рельєфу [20] відбитків (їх графічної та градаційної точності) та цілеспрямованого корегування на етапі проектування профілю друкувальних форм, що виготовлюються із застосуванням DLE.

Графічна точність – це «ступінь наближення всіх елементів відбитка до оригіналу – формою, розмірами і розташуванням» [43]; градаційна точність – «правильне відтворення на відбитку півтонів оригіналу» [43], яка контролюється як візуально, так і вимірюванням оптичної густини одних і тих

же елементів зображень відбитка і оригіналу. Під поняттям «оригінал» будемо розуміти отриманий профіль гравійованих елементів друкарської форми [10]. Особливістю ІД є те, що напівтонові зображення утворюються штриховими елементами різної ширини та різної товщини фарбового шару, яка може варіюватися в межах одного штриха як по довжині, так і в перерізі [141]. Тому у ІД поняття графічної точності визначається збереженням ширини штрихів, їх цілісності та чіткості країв, а поняття градаційної точності визначається рівномірністю передачі фарбового шару за товщиною, що відповідає заданим геометричним параметрам ДФІ [10].

Коефіцієнт фарбовіддачі - співвідношення об'єму фарби, вилученої із ДЕ форми і закріпленої на відбитку, до загального об'єму фарби у ДЕ [93]. Цей коефіцієнт залежить від співвідношення основних розмірів гравійованих ДЕ – відношення глибини гравіювання до ширини [94, 146].

Вчені визнають параметри ГШ друкарської форми, як один з найбільш вагомих факторів якості фарбового шару ІД [20, 49, 93-96, 142–145]. Враховуючи наведене, нами досліджено графічну точність відбитків плашок МФ 1 з погляду збереження ширини та чіткості надрукованих штрихів [6]. Ширина надрукованих штрихів визначена за допомогою оптичної мікроскопії (мікроскоп МОЦ-45 Мікротех за збільшення  $45\times$  у відбивному та пропускнуому світлі, табл. 3.3).

За отриманими значеннями ширини штрихів визначено показник розтікання фарби  $k_w$  [10]:

$$k_w = \frac{b_{print} - b}{b} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де  $b$  – запроектована ширина гравіювання штрихів друкарської форми,  $b_{print}$  – середнє значення ширини надрукованих штрихів.

Чіткість надрукованих штрихів оцінюється за допомогою показника шприцювання  $N_k$ , який визначається як середнє арифметичне значення



кількості вусиків, що виходять за межі десяти типових штрихів загальною довжиною 10000 мкм для кожного виду зразків [147].

Методика визначення товщини фарбового шару та дослідження залежності товщини фарбового шару від змінних факторів ТП інтаглюдруку базується на профілометричному аналізі відбитків [145, 148]. На основі значень товщини фарбового шару ІД  $R_{int}$  визначено коефіцієнт втрати товщини фарбового шару  $k_r$  порівняно із запроектованою глибиною гравіювання ДФІ  $a$  [10]:

$$k_r = \frac{(a - R_{int})}{a} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

Великі значення цього показника негативно впливають на градаційну точність відбитків, яка порушується через нерівномірність фарбових шарів на відбитку, а також на економічність процесу – знижується його матеріальна та енергоефективність [10].

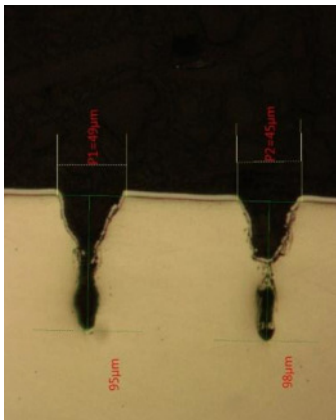
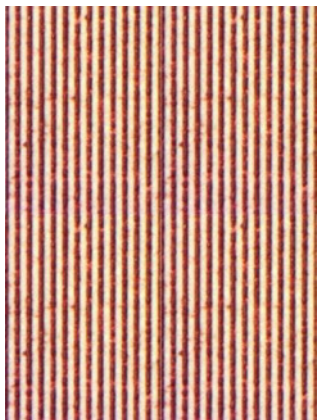

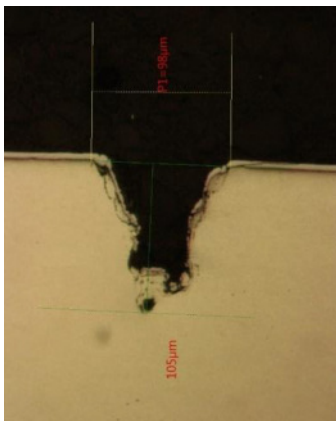
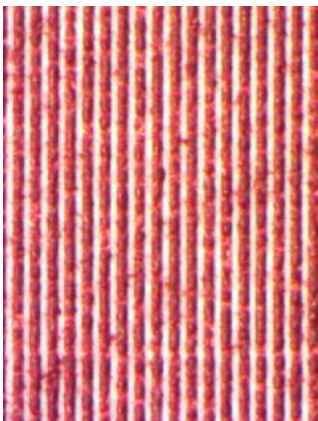

Важливу роль у формуванні профілю ДЕ відіграє співвідношення розмірів його сторін  $k_{cell}$  – коефіцієнт відношення глибини до ширини ГШ: якщо значення глибини ДЕ досягає або перевищує значення їх ширини, то запроектований прямокутний профіль штриха перетворюється у трикутний, а також відбувається додаткове пропалювання форми лазером, спричинюючи неякісне збільшення глибини штриха. Це явище є негативним з погляду тиражестійкості ДФІ, а також фарбоємності і фарфарбоперенесення. У той же час збільшення ширини і зменшення глибини ДЕ сприяє більш якісному формуванню профіля ДЕ форми [10].

Співвідношення сторін ГШ форми має суттєвий вплив на якість фарбових шарів ІД. Результати досліджень показали, що за умови збільшення співвідношення глибини ГШ до їх ширини під час фарбоперенесення втрачається більша частка фарби (рис. 3.11): видно, що ГШ із співвідношенням сторін понад 0,4 при перенесенні фарби втрачають понад 50% об'єму фарби, тобто стають занадто вузькими і можуть не сприймати фарбу або ж не

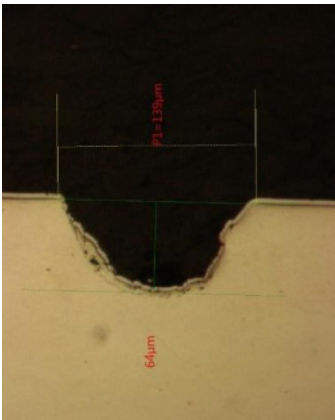
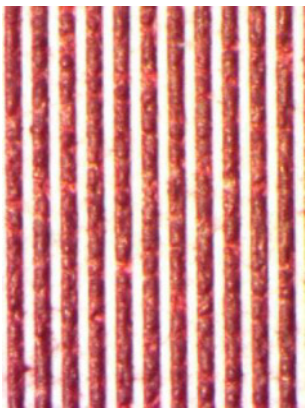
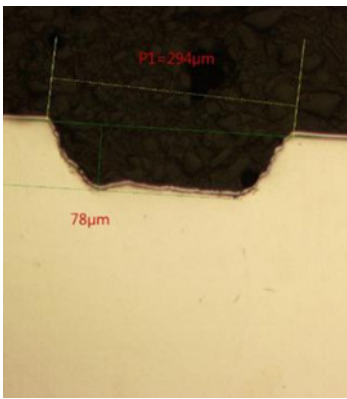
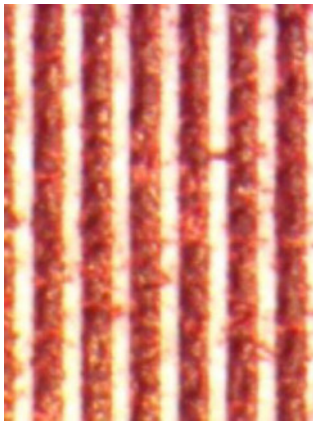
віддавати фарбу через дію капілярних сил, що утворюються у вузькому штриху. При відтворенні занадто тонких штрихів можливе непродруковування зображення [10].

Зважаючи на основне призначення інтагліодруку як захисного засобу – формування товстого фарбового шару, відчутного тактильно, – втрата товщини фарбового шару є суттєвим недоліком друкування, яка, до того ж негативно впливає на передачу градаційної точності відбитків. З цього погляду, а також задля економії енергоресурсів, видається за доцільне не проектувати друкувальні елементи, глибина яких більше ніж вдвічі більша за ширину [10].

Таблиця 3.3. Порівняльний аналіз запроектованих, гравійованих та надрукованих штрихів [10]

№	Заданий профіль ДЕ та його параметри			Фактично отримані профілі ДЕ (x200)	Фактично отримані надруковані штрихи (x20)
	Глибина, мкм	Ширина, мкм	$k_{cell}$		
1	60	50	1,20		
					
2	60	90	0,67		
					

Таблиця 3.3 (продовження).

№	Заданий профіль ДЕ та його параметри			Фактично отримані профілі ДЕ (x200)	Фактично отримані надруковані штрихи (x20)
	Глибина, мкм	Ширина, мкм	$k_{cell}$		
3	60	140	0,43		
5	80	300	0,27		

\*- наведено візуалізацію штрихів плашок 1, 2, 3, 5.

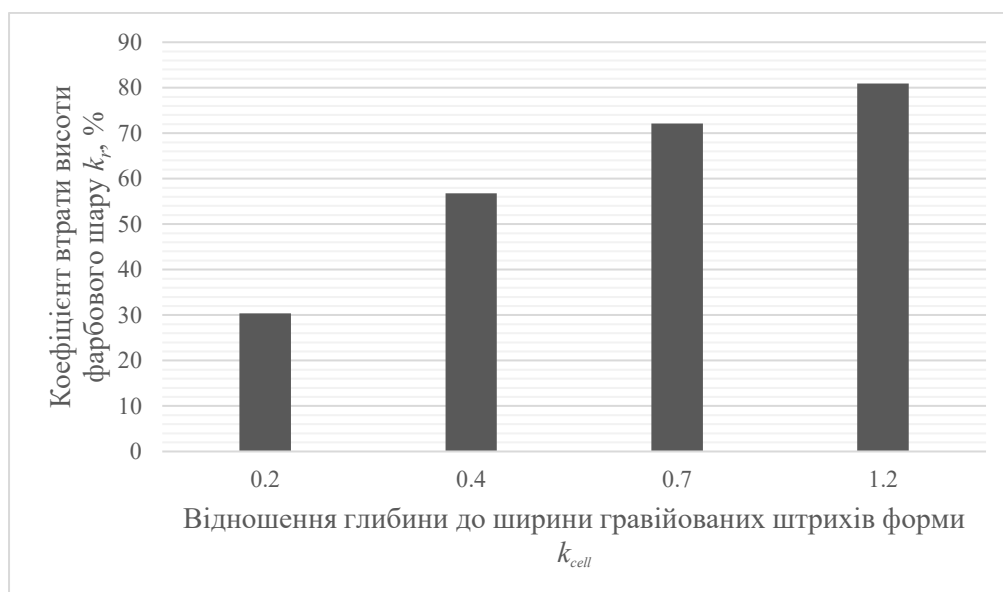


Рис 3.11. Вплив співвідношення глибини до ширини ГШ форми на коефіцієнт втрати товщини при фарбоперенесенні [10]

Із рис. 3.12 видно, що при використанні ГШ із співвідношенням глибини до ширини більше 0,4 коефіцієнт розтікання фарби перевищує 20%, що може свідчити про те, що фарба не встигає полімеризуватися в ДК і витікає з ДЕ форми, спричиняючи збільшення ширини надрукованих штрихів. Такий вид спотворень зменшує рівень графічної точності відбитків.

Має місце також тенденція збільшення показника шприцювання при збільшенні коефіцієнта відношення глибини до ширини ГШ форми (рис. 3.13). Це також пояснюється зниженням рівня полімеризації фарби після виходу задрукованого матеріалу із ДК з формою. Варто відзначити також, що при використанні ширини ГШ, більшої більш ніж втричі за глибину гравіювання, показник шприцювання стрімко зростає. Це свідчить про підвищену фарбовіддачу ДЕ при такому співвідношенні сторін ГШ форми. Ці графічні спотворення значно знижують роздільну здатність, викликають градаційні і, як наслідок, оптичні спотворення при друкуванні [10].

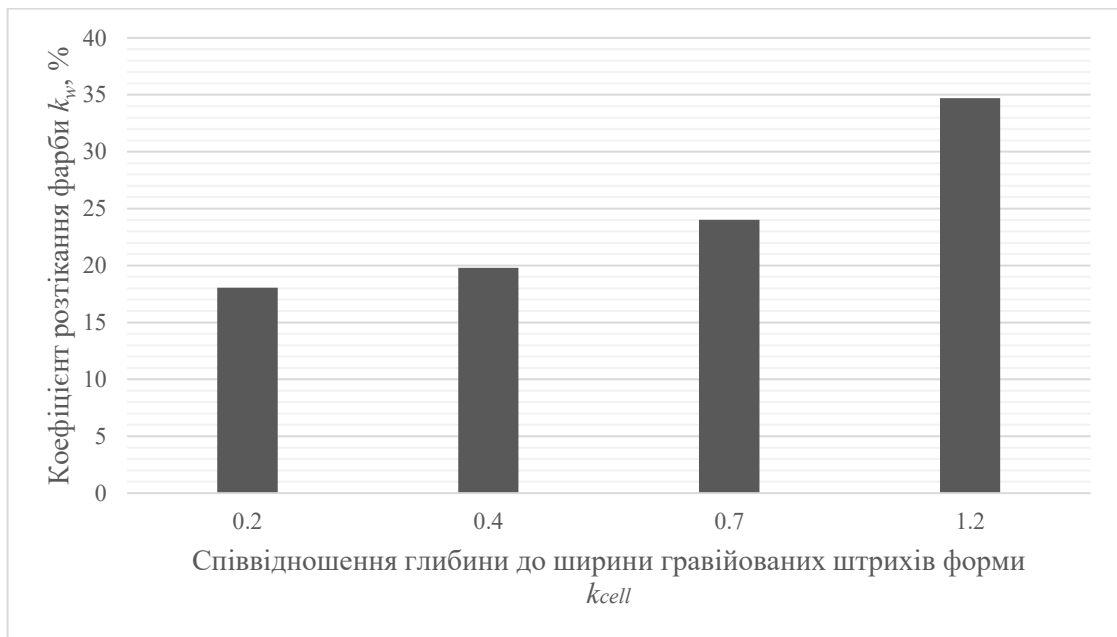


Рис 3.12. Вплив співвідношення глибини до ширини ГШ форми на коефіцієнт розтікання фарби при фарбоперенесенні [10].

Таким чином, проведені дослідження відбитків пробного друку з використанням МФ 1 показали, що зі зростанням коефіцієнта відношення глибини до ширини ГШ понад 0,4 коефіцієнт втрати товщини фарбового шару

зростає та перевищує 50%, коефіцієнт розтікання фарби зростає та перевищує 20%, показник шприцювання також зростає та перевищує 10 вусиків на 1 см, що свідчить про загальне зниження коефіцієнту фарбоперенесення та графічної і градаційної точності відбитків. Найкращі показники якості фарбового шару досягнуто при застосуванні гравійованих елементів із співвідношенням глибини до ширини у діапазоні 0,3 – 0,5 [10].

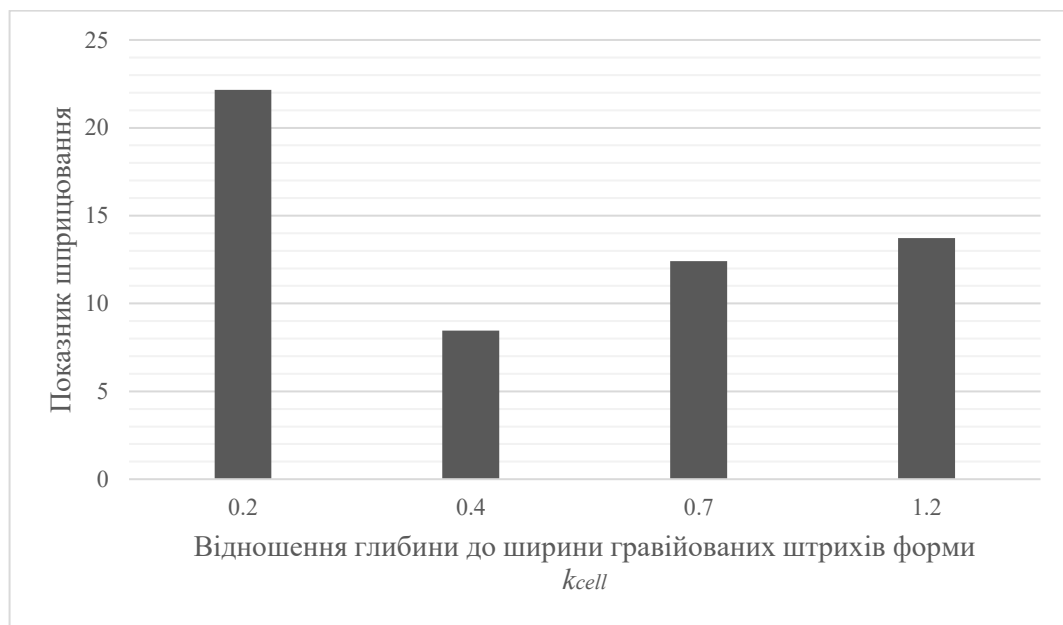


Рис 3.13. Вплив співвідношення глибини до ширини ГШ форми на показник шприцювання на відбитках [10]

### 3.4. Інтегральна феноменологічна модель формування зношеності форм інтагліодруку.

З результатів вище наведених досліджень стану ДФІ на різних етапах її життєвого циклу – від монтажу на формний циліндр до втрати тиражестійкості (часткового руйнування, що спричиняє неможливість отримання відбитків належної якості (підрозд. 3.1, 3.2)) – можна зробити висновки про види руйнування, яких зазнає форма.

Втрата тиражестійкості, як з'ясовано, відбувається через руйнування саме ЗП нітриду хрому, нанесеного PVD, оскільки після проведення відновлення форм – їх перехромування (розхромування (зняття шару покриття нітриду хрому) і повторного нанесення ЗП, але не PVD, а електрохімічним

способом) та повторного монтажу на ФЦ, прилагоджування та друку виявилось, що тиражестійкість форм з гальванічним покриттям практично в 4,6 рази вище – 12000 арк./форму, тоді як для PVD покриття – до 2600 арк./форму. Отже, має місце поверхнєве руйнування багатошарової конструкції, якою є латунна форма із ЗП та системою ГШ.

#### **3.4.1. Визначення силових впливів та процесів тертя в друкарській секції машин інтагліодруку.**

Схематично процес ІД в друкарській секції машин типу *KBA Notasys S.A. Super-Orlof-Intaglio* полягає в: 1) накочуванні фарби на ФЦ зі збірного (фарбового) циліндра та фарбового циліндра для нанесення фарб зі спеціальними захисними властивостями; 2) стиранні за допомогою СВ зайвої фарби з ПЕ форми, встановленої на ФЦ; 3) перенесення фарби на папір в ДК формного і друкарського циліндрів (рис. 3.14).

Уточнимо особливості ІД, які можуть спричиняти руйнування форм, було частково вже окреслено вище (розділ 1) [4]:

1) Надзвичайно високий тиск в зоні контакту ФЦ і ДЦ [4, 30, 91] спричиняє не лише значне ущільнення основи банкнот та дозволяє застосувати в дизайні і захисних елементах ефект тиснення, але і є основною причиною руйнування за умови тривалого використання ДФІ. Окрім того, в роботах [20, 91-94] визначено, що тиск в ДК прикладається відмінно до різних ділянок паперу у взаємодії з ДЕ та ПЕ форми. При цьому тиск в ДК на ДЕ є, очевидно, меншим, ніж на ПЕ, однак, ДЕ під дією тиску деформуються в напрямку до ДЦ, зазнаючи деформацій розтягнення, тоді як ПЕ зазнають деформацій стиснення. Ступінь деформацій, яких зазнають бічні грані ГШ, залежить від профілю штрихів (трепещієподібні, чи прямокутні). Однак, зрозуміло, що напруження, які виникають у формах як через динамічні навантаження під час роботи, так і через композиційний їх характер (наявність основи і захисного покриття) спричиняють порушення адгезії ЗП до основи і, в подальшому, до поступового руйнування форми [4];

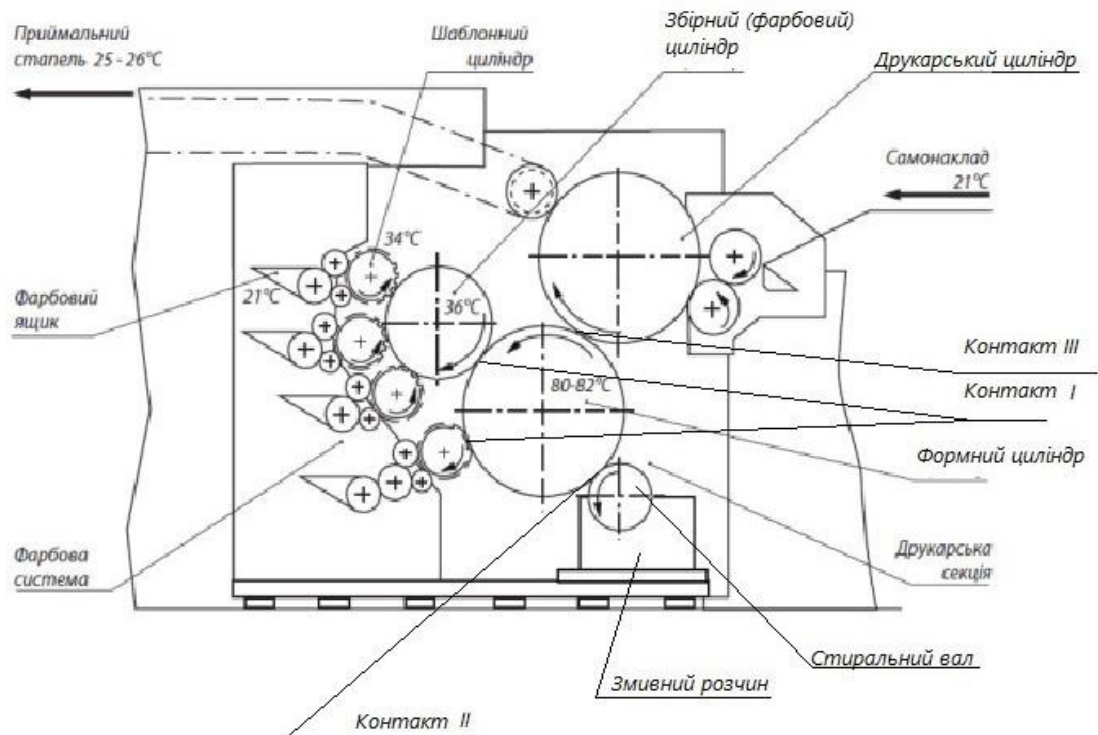


Рис. 3.14. Друкарська секція машини ІД з позначеними місцями контакту ФЦ з іншими елементами: Контакт I – місце контакту ФЦ і збірного (фарбового) циліндра та фарбового циліндра для нанесення фарб зі спеціальними захисними властивостями; Контакт II – місце контакту ФЦ і СВ; Контакт III – місце ДК (контакту ФЦ і ДЦ).

2) в дослідженнях [20, 91-94] та патентах [97–103] показано, що рельєф ІД (фарбовий шар і підфарбовий рельєф), формується у ДК під спільною дією тиску в ДК та підвищеної до 80–85 °С температури ФЦ і нагрітої до цієї ж температури фарби [4] ;

3) у більшості фарб для ІД використовують традиційну основу – алкідні смоли в кількості приблизно 15–50% від складу фарби [20, 91, 95, 96]. Алкідні смоли мають ступінь нейтралізації між 10–35% і кислотне число 30–110. Фарби є пастоподібними, можуть містити ненасичені масляні компоненти у кількості 5–15%, аніонну та неіоногенну поверхнево-активну речовину в кількості 0,5–12%, і органічну багатофункціональну основу в кількості 0,5–5%, відібрану з групи, що складається з амінів спирту, поліетилену та органічної основи, що має точку кипіння 70–150° [97–99]. Основною перевагою фарб на основі алкідних смол є хороше затвердіння, що забезпечується механізмом окиснювальної полімеризації, що призводить до забезпечення прийнятних показників фізичної і хімічної стійкості

задрукованої продукції після висихання [99]. Головний недолік алкідних смол окиснювальної полімеризації – повільне висихання. Тому задля запобігання зниженню швидкості друкування та відмарювання фарби на зворотній бік наступного аркуша у стосі використовують екологічно небезпечні органічні розчинники (VOC – леткі органічні сполуки) [100]. Це потребує від усіх елементів фарбової системи, в тому числі і від форм, хімічної стійкості до дії алкідних і вуглеводневих сполук друкарських фарб ІД [97, 101];

4) Форма, встановлена на ФЦ, задля очищення ПЕ від фарби під час кожного оберту входить в трибологічний контакт зі СВ, який, до того ж, може містити на поверхні залишки змивного розчину, яким СВ омивається після кожного контакту з ФЦ [102]. Очищення СВ здійснюється розбавленим водою розчином каустичної соди, що містить 0,1–1 % NaOH, 0,5% сульфованої касторової олії, інших поверхнево-активних речовин, чи навіть чистою водою [102, 103].

Як видно з рис. 3.14, кожна з точок поверхні ФЦ під час процесу друкування циклічно, з періодичністю, яка залежить від швидкості друку, входить в силовий, трибологічний та інші види контакту з такими основними складниками друкарської секції в таких зонах:

- Контакт I – місце контакту ФЦ і збірного (фарбового) циліндра та фарбового циліндра для нанесення фарб зі спеціальними захисними властивостями; - Контакт II – місце контакту ФЦ і СВ; - Контакт III – місце ДК (контакту ФЦ, ДЦ і паперу).

Насамперед потрібно з погляду визначення процесів зношування розглянути питання взаємного переміщення циліндрів і валів у зазначених контактах. Всі швидкості переміщення поверхонь тертя є синхронізованими за швидкістю. За класифікацією видів руйнування за характером силового впливу [104, с.108], має місце руйнування від спільної дії двох видів навантаження: 1) статичного навантаження постійної дії; 2) циклічного навантаження (табл. 3.4).



Таблиця 3.4. Характеристика силових впливів в друкарській системі ІД.

№	Технологічні етапи	Характер силового впливу*	Вплив етапу на форму**	Можливі наслідки впливу
1.	Встановлення форми на формний циліндр / вигин форми	Статичне навантаження постійної дії	Виникнення напружень. Пружно-пластичне деформування багат шарової структури форми.	Порушення адгезійної міцності захисного покриття. Відшарування елементів покриття.
2.	Накочування фарби на ФЦ	-	-	-
3.	Стирання фарби з ПЕ форми	-	-	-
4.	Входження в ДК	Циклічне навантаження (лінійне навантаження до 1000 кН/м)	Пружне деформування форми (з часом – пружно-пластичне, потім - пластичне). Багатоциклова втомність	Порушення адгезійної міцності захисного покриття. Утворення тріщин. Відшарування елементів покриття та стінок штрихів. Відшарування приповерхневих шарів латуні.
5.	Перехід фарби на папір	Циклічне навантаження (лінійне навантаження до 1000 кН/м)	Форма в напружено-деформованому стані. Багатоциклова втомність	
6.	Вихід з друкарського контакту	Нульове навантаження циклу	Релаксація напружень. Багатоциклова втомність	

\* - для кожного нескінченно малого елементу оболонки (форми);

\*\* - з погляду силового впливу.

З погляду теорії пластин і оболонок [149], формна пластина за співвідношенням геометричних параметрів може розглядатися як оболонка – плоска до встановлення на ФЦ і циліндрична після встановлення. Статичне навантаження постійної дії виникає під час монтажу трьох форм на ФЦ, що через необхідний для цього вигин форми спричиняє виникнення дотичних (мембранних) напружень [149]. Оскільки йдеться про двошарову оболонку (ЗП + латунна основа), релаксація напружень у відмінних за механічними властивостями матеріалах спричиняє пластичну деформацію ЗП на окремих ділянках (рис. 3.2), наслідком чого є порушення адгезійного з'єднання покриття з латунною основою. За умови високої адгезійної стійкості ЗП, яке

має місце у гальванічно нанесеному хромовому шарі (підрозд. 3.1) релаксація таких мембранних напружень не призводить до порушення ЗП. Тому внесок у процеси руйнування форми статичного навантаження постійної дії в подальшому не розглядаємо як значущий фактор, оскільки він не проявляє себе за умови належної адгезійної стійкості ЗП.

Циклічні навантаження на ДФІ відбуваються протягом всього часу друкування і в підсумку призводять до втомного руйнування форми. Як показують дослідження (підрозд. 3.1) цей вид руйнування також проявляється у відшаровуванні ЗП (рис. 3.3), але критичне відшаровування ЗП на МФ в зоні друку у разі PVD покриття відбувається після друкування біля 2600 арк./форму, у разі перехромування і гальванічного покриття – після друкування 12000 арк./форму. Має місце знакопостійне віднульове циклічне навантаження [104, с.131].

У Контакті I (табл. 3.5) має місце тертя кочення за участю трьох твердих тіл – поверхонь ФЦ (його ПЕ) з поверхнею збірного (або збірного і фарбового) циліндра з участю фарби, що виконує як змащувальну, так і абразивну дію через наявність в ній великої кількості твердих пігментів та корозійну дію через наявність зв'язуючого. Силова дія валів в цьому контакті відносно незначна. Друкувальні елементи зазнають корозійного впливу фарбової композиції. Також має місце тепловий вплив нагрітої до 82–85°C фарби.

У Контакті II (табл. 3.5) СВ спричиняє суттєвий механічний рух тертя ковзання у контакті СВ з ПЕ, де третім тілом також виступають частинки пігменту фарби. Цей вплив певною мірою поширюється і на приповерхневу частину ДЕ, особливо невеликої глибини та великої ширини, що на думку авторів [49], навіть може призвести до надмірного стирання фарби у штрихах.

Однак, у Контакті II суттєву роль відіграє корозійний механізм зношування через участь в процесах залишків змивного розчину, яким СВ (рис. 3.14) постійно омивається для очищення від фарби, видаленої з ПЕ форми. Також зберігається тепловий вплив нагрітої до 82–85°C фарби на ДЕ, але зменшується для ПЕ.

В Контакті III механічні силові впливи через надзвичайно високий тиск у контакті є визначальними і такими, що обумовлюють структурні зміни в приповерхневих шарах спершу друкувальних, а потім і пробільних елементів локальних мікропластичних деформацій [104, с.130] та поступового виникнення мікротріщин, потім тріщин та відшаровування ЗП (порушення адгезійної стійкості) та захисного покриття з когезією латунної основи [150]. Мікрочастки ЗП в подальшому виступають як третє тіло в усіх трьох трибологічних контактах, через високу твердість суттєво підвищуючи абразивне тертя. В цьому контакті в ДЕ зберігається тепловий вплив нагрітої фарби. Для ПЕ та приповерхневої частини друкувального додається абразивна дія паперу та можливі електростатичні впливи через це тертя.

На ділянках руху між контактами I–II, II–III і III–I немає дії механічних впливів, зберігається тепла дія на форму нагрітого ФЦ. В міжконтактних зонах руху ФЦ I–II і II–III суттєвим є хімічний вплив нанесеної на ПЕ і ДЕ фарби (I–II) та фарби в ДЕ і слідів змивного розчину на ПЕ (II–III).

Через циклічний характер всіх контактів і впливів процеси зношування форми має місце ефект синергії, що відображено на рис. 3.15, де представлено інтегральну модель формування зношеності форми.

Отже, руйнування ДФІ спричиняє низка факторів різноманітної природи [4], які діють спільно та циклічно, спричиняючи втомне руйнування [104] форм:

- 1) Механічні фактори – надзвичайно високий циклічний тиск у ДК; неоднакова дія зазначеного тиску на ДЕ та ПЕ форм, що спричиняє деформації стиснення і розтягування на різних ділянках форми; циклічний трибологічний контакт зі СВ, що викликає поступове руйнування ЗП; напруги, які є характерними для багатошарових структур (захисне нітрид-хромове покриття – латунна основа); можливе знеміцнення приповерхневого шару латунної основи під час лазерного оброблення [4];

Таблиця 3.5. Аналіз процесів тертя в друкарській системі інтаглідруку.

Контакт	Елемент форми*	Контакт формного циліндра	Напрямок руху валів / циліндрів відносно формного циліндра	Вид тертя руху між циліндрами	Додаткові агенти в трибологічному контакті та міжконтактному русі	Впливи на форму ***					Додані агенти в трибологічному контакті
						Механічний (силовий)	Механічний (тертя руху)	Хімічний	Тепловий	Електро-магнітний	
I	ПР	Збірний (фарбовий) циліндр	Однаковий	Кочення	Фарба (сліди)	+	+	+++	++++	-	Частки відшарованого покриття і частки відшарованих стінок штрихів
	ДР			Кочення**	Фарба	+	-	+++	++++	-	
I-II	ПР	Безконтактний рух	-	-	Фарба	-	-	+++	++++	-	
	ДР				Фарба	-	-	+++	++++	-	
II	ПР	Стриральний вал	Протилежний	Ковзання	Фарба, змивний розчин (сліди)	+	++++	++++	++++	-	
	ДР			Ковзання**	Фарба	+	+	+++	++++	-	
II-III	ПР	Безконтактний рух	-	-	Фарба, змивний розчин (сліди)	-	-	++++	++++	-	
	ДР				Фарба	-	-	+++	++++	-	
III	ПР	Друкарський циліндр	Однаковий	Кочення	Фарба (сліди, шприцювання), папір	++++	++	+	++++	+	
	ДР			Кочення**	Фарба, папір (в межах тиснення паперу в штрих)	++++	++	+++	++++	+	
III-I	ПР	Безконтактний рух	-	-	-	-	-	-	++++	-	
	ДР				Фарба (сліди)	-	-	+	++++	-	

\* - ПР – пробільний елемент, ДР – друкувальний елемент;

\*\* - приповерхневі шари;

\*\*\* - позначено силу впливу певного виду, де знаком «-» позначено практична відсутність цього виду впливу, «+» - наявність впливу в діапазоні від найменшої значущості (+) до найбільшої (++++).

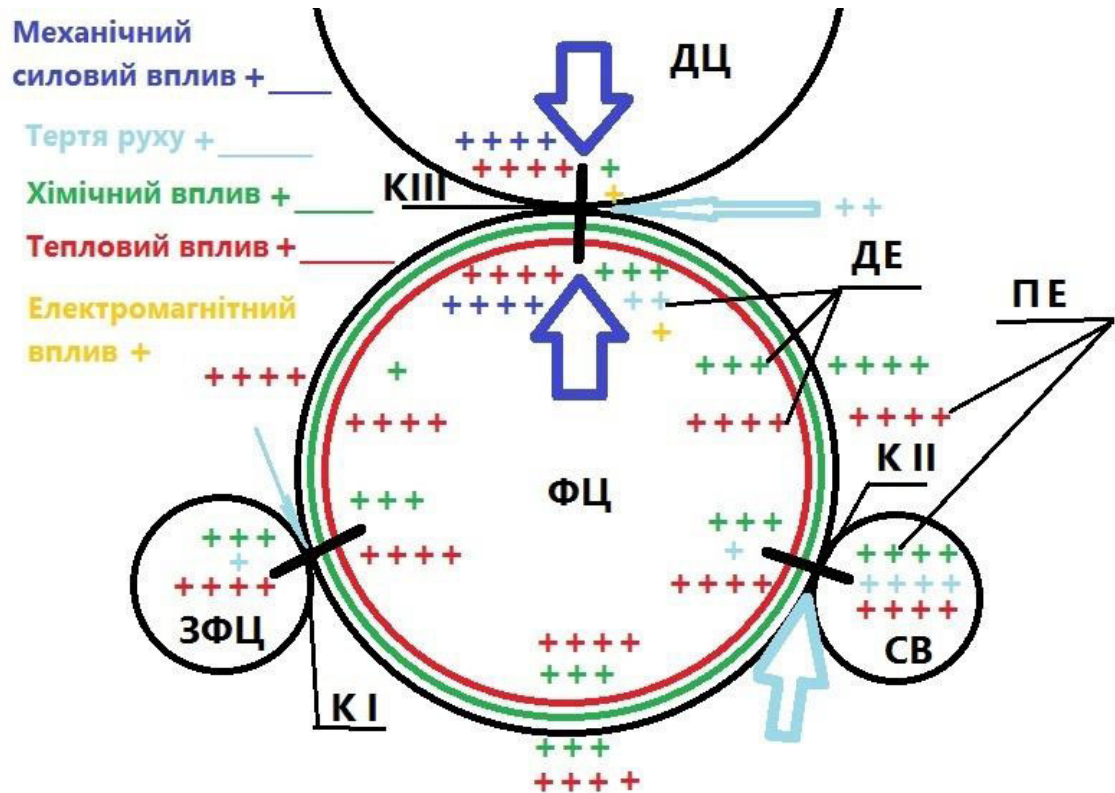


Рис. 3.15. Інтегральна феноменологічна модель формування зношеності ДФІ. Тут позначено: ЗФЦ – збірний (фарбовий) циліндр; К І, К ІІ, К ІІІ – контакт І, ІІ, ІІІ, відповідно. Вплив та значущість діючих факторів для ДЕ наведено всередині умовного формного циліндра, для ПЕ – ззовні ФЦ. Впливи в контактах наведено на тлі відповідних валів і циліндрів для ПЕ і всередині умовного ФЦ – для ДЕ.

2) Хімічні фактори – постійний контакт форми з хімічними сполуками рідкого та газоподібного виду – фарбами та змивними розчинами, що сприяють окиснювальній руйнації [4];

3) Тепловий вплив – циклічний температурний градієнт через контакт з ФЦ та нагрітою фарбою [4];

4) Електромагнітний вплив через тертя паперу в ДК.

Таким чином, під час друкарського процесу ІД має місце втомне зношення через циклічні механічні впливи силового характеру та тертя, що спричиняють крихке руйнування захисного покриття та приповерхневих шарів латунної основи ГШ, яке посилюється дією агресивного середовища (хімічними впливами) та постійного температурного впливу. В ДК додається електромагнітний вплив через можливе виникнення поляризації внаслідок тертя паперу з циліндрами.

### **3.4.2. Встановлення механізмів зношення в друкарській системі інтагліодруку та порушення адгезійної стійкості захисного покриття.**

Проведений аналіз процесів в усіх складниках друкарської секції ІД, узагальнений в інтегральній моделі формування зношеності форми (рис. 3.15), дозволяє виокремити ті види зношування за ДСТУ 2823-94 [151], які спричинені наведеними впливаючими факторами (табл. 3.6).

З результатів аналізу видно, що переважним видом зношування, який має місце в усіх ділянках контакту та дія якого продовжується в безконтактних областях руку ФЦ, є механохімічне зношування, яке формує знос ДФІ як основний процес чи додатковий процес протягом усього циклу обертання ФЦ. Можна погодитися з висновками ґрунтовного дослідження [113], що основним видом зношування в контакті СВ і форми, встановленої на ФЦ, є абразивний. Однак, тут варто враховувати не лише фарбові пігменти як додаткове третє тіло, але й частки відшарованого ЗП і частки відшарованих стінок ГШ.

Видно, що найскладніші взаємодії і процеси відбуваються в Контакті ІІІ, де основним видом зношення є втомне, яке виникає в умовах багаторазового деформування мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару [151]. Таке втомне зношування, що виникає через знакопостійне віднульове циклічне навантаження в ДК, є основною причиною утворення мікротріщин в ДЕ. Той факт, що відшарування ЗП відбувається саме у ДЕ підтверджено нами (підрозд 3.1, рис. 3.3), а також у дослідженнях [69, 71].

Мікротріщини, враховуючи наявність усіх видів впливу в ДК (табл. 3.5, 3.6), які сприяють додатковим видам зношення – механохімічного (через взаємодію з фарбою і її агресивними сполуками), в тому числі фретинг-корозійного, електроерозійного та абразивного (через взаємодію з папером) – поступово збільшуються, викликаючи руйнування, насамперед, ЗП.

Як зазначено авторами [152], «руйнування поверхонь при втомних пошкодженнях характеризується виникненням мікротріщин, одиничних і групових впадин ... процес втомного руйнування стає переважаючим». Ці ж автори описують розвиток втомних тріщин, коли вони, беручи початок на

поверхні, входять у глибину, утворюють сітку, а на пізній фазі змінюють свій напрямок, через що відбувається відокремлення ділянок поверхневого та приповерхневого шару. Отже, частки відшарованого ЗП і частки відшарованих стінок ГШ стають в подальшому частиною трибологічних контактів, суттєво підсилюючи вже абразивне зношення в Контакті II.

Будова втомних зламів залежать не лише від параметрів циклічного навантаження, але й [104] «опору розвитку тріщин обумовленого властивостями матеріалу, станом поверхні, ... наявністю концентраторів напружень». Там же стверджується, що «стан поверхні, її якість... можуть бути причиною випадкових відхилень у значеннях границі витривалості... Втомні властивості матеріалів ..., які піддаються дії циклічних навантажень, носять імовірнісний характер», і «процеси нагромадження втомних ушкоджень... тісно пов'язані зі структурною неоднорідністю матеріалу і локальністю джерел втомного руйнування» [104]. Цей же автор виокремлює роль основних факторів руйнування – вплив поверхні, конструктивні параметри, масштабний ефект та умови експлуатації [104].

На ролі концентраторів напружень в розвитку втомного руйнування наголошено і авторами [153]. Автори [154] також стверджують, що поява внутрішніх напружень в гетеросистемах (якою, безперечно, є багатошарова композиція латунь – ЗП) зумовлена різними чинниками, в тому числі наявністю в покритті та підкладинці дефектів структури.

Ймовірнісний підхід до аналізу міцності повністю підтримують автори [155], які до того ж зауважують, що нерівності на поверхні суттєво знижують опір втомленості деталей. Такими нерівностями на формах є ГШ різної форми та розміру.

Для визначення чутливості матеріалу до концентраторів напружень використовують показник  $K_\sigma$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень [104, 153, 155]:

Таблиця 3.6. Встановлені механізми зношення в друкарській системі інтагліодруку.

Контакт	Елемент форми*	Контакт формного циліндра	Агенти в трибологічному контакті та міжконтактному русі	Впливи на форму ***					Вид зношування (за ДСТУ 2823-94 )		
				Механічний (силовий)	Механічний (тертя руху)	Хімічний	Тепловий	Електро-магнітний	Основний	Додатковий	
I	ПЕ	Збірний (фарбовий) циліндр	Фарба (сліди), частки відшарованого покриття і частки відшарованих стінок штрихів (ЧП)	+	+	+++	++++	-	Механохімічне	Абразивне	
	ДЕ		Фарба, ЧП	+	-	+++	++++	-		Абразивне	
I-II	ПЕ	Безконтактний рух	Фарба, ЧП	-	-	+++	++++	-			
	ДЕ		Фарба, ЧП	-	-	+++	++++	-			
II	ПЕ	Стиральний вал	Фарба, змивний розчин (сліди) , ЧП	+	++++	++++	++++	-	Абразивне	Механохімічне (окиснювальне)	
	ДЕ		Фарба, ЧП	+	+	+++	++++	-	Механохімічне		
II-III	ПЕ	Безконтактний рух	Фарба, змивний розчин (сліди) , ЧП	-	-	++++	++++	-			
	ДЕ		Фарба, ЧП	-	-	+++	++++	-			
III	ПЕ	Друкарський циліндр	Фарба (сліди, шприцювання), папір, ЧП	++++	++	+	++++	+	Утомне	Механохімічне + Фретинг-корозійне Електроерозійне Абразивне	
	ДЕ		Фарба, папір (в межах тиснення паперу в штрих) , ЧП	++++	++	+++	++++	+	Утомне		
III-I	ПЕ	Безконтактний рух	ЧП	-	-	-	++++	-	Механохімічне		
	ДЕ		Фарба (сліди) , ЧП	-	-	+	++++	-			

\* - ПЕ – пробільний елемент, ДЕ – друкувальний елемент; \*\* - приповерхневі шари; \*\*\* - сила впливу - Див. табл. 3.5.



$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}}, \quad (3.3)$$

де  $\sigma_{-1}$  - границя витривалості гладкого зразка (без концентрації напружень),  $\sigma_{-1k}$  - границя витривалості зразків з концентрацією напружень, які підраховані як номінальні напруження для гладкого зразка з таким же поперечним перерізом [104, 153].

Відповідно до [155], концентрація напружень виникає через зміну форми деталі. Враховуючи підходи цих авторів [155],

$$K_{\sigma} = \left( \frac{k_r}{k_{ab\alpha d}} + \frac{1}{k_s} - 1 \right) \frac{1}{k_l \cdot k_A} \quad (3.4)$$

де  $k_r$  – коефіцієнт концентрації дотичних напружень при деформації стиснення;  $k_{ab\alpha d}$  – масштабний фактор, що враховує вплив абсолютних розмірів ГШ, ЗП та режими DLE (  $a$  – глибина штриха,  $b$  – ширина штриха,  $\alpha$  – кут нахилу стінок штриха,  $d$  – відстань між штрихами,  $h$  - товщина ЗП,  $l$  – режими DLE);  $k_{loss}$  – коефіцієнт якості стану поверхні ГШ;  $k_l$  – коефіцієнт параметрів DLE, що враховує фактор лазерного зміцнення / локального знеміцнення;  $k_A$  – коефіцієнт анізотропії, котрий визначається співвідношенням товщини ЗП, абсолютних розмірів ГШ, режимів DLE. Враховуючи взаємозв'язок з окремими технологічними параметрами масштабного фактору  $k_{ab\alpha d}$ , коефіцієнту якості стану поверхні ГШ  $k_{loss}$ , коефіцієнту параметрів DLE  $k_{DLE}$  та коефіцієнту анізотропії  $k_A$ :  $k_i = f_i(a, b, \alpha, d, h, l)$  –  $k_1 = k_{ab\alpha d} = f_1(a, b, \alpha, d, h, l)$ ,  $k_2 = k_{loss} = f_2(a, b, \alpha, d, h, l)$ ,  $k_3 = k_l = f_3(a, b, \alpha, d, h, l)$ ,  $k_4 = k_A = f_4(a, b, \alpha, d, h, l)$ , маємо:

$$K_{\sigma} = \frac{k_r}{\prod_{i=1}^4 f_i(a, b, \alpha, d, h, l)} = F(a, b, \alpha, d, h, l) \quad (3.5)$$

Отже, можна зробити висновок, що зменшення кількості дефектів – концентраторів напружень на поверхні ГШ (тріщин, сколів і відшарувань ГШ) може бути дієвим способом зменшення втомного руйнування ЗП.

### Висновки до розділу 3

1. Зниження тиражестійкості форм DLE+PVD спричиняється недостатньою адгезійною стійкістю ЗП, нанесеного за технологією PVD: тиражестійкість форм з гальванічним покриттям практично в 4,6 рази вище. Використання латунної основи дозволяє виготовити прийнятні з погляду тиражестійкості форми.

2. Виявлено, що стан поверхні, структура та властивості поверхневих шарів латунної основи в зоні ДЕ не забезпечують умов для якісного нанесення PVD-покриття, наслідком чого є швидке руйнування форм: адгезійна міцність захисного нітрид-хромового PVD покриття на ПЕ форми збережена, на відміну від ДЕ (окрім дрібних, глибиною 10 мкм); поверхневий шар матеріалу основи у безпосередній близькості від ДЕ є тріщинуватим, пористим та неоднорідним, мікротвердість є меншою на 15-40 % від середнього значення мікротвердості латунної основи; дно ДЕ через особливості лазерного гравіювання (надмірно інтенсивні режими лазерної обробки) має суттєві нерівності регулярного характеру, що погіршує адгезію аж до відшарування захисного PVD покриття; порівняльні дослідження ПЕ і ДЕ показують, що шорсткість ПЕ форм суттєво нижча, ніж дна ДЕ, що повністю кореспондується з даними металографічних досліджень.

3. Дослідження відбитків пробного друку показали, що форма DLE+PVD, дозволяє отримувати відбитки належної якості. Виявлено, що для забезпечення якісного відбитка важливими є співвідношення геометричних параметрів ГШ: найкращі показники якості фарбового шару досягнуто у ГШ із співвідношенням глибини до ширини 0,3–0,5.

4. В результаті дослідження процесів та впливів, яких зазнає форма у друкарській секції ІД, вперше розроблено інтегральну феноменологічну модель формування зношеності ДФІ, яка на основі дослідження механічних силових та трибологічних процесів, теплових, хімічних та електромагнітних впливів та значущості діючих факторів для ДЕ та ПЕ дозволила встановити

механізми зношення в друкарській системі ІД та причини порушення адгезійної стійкості ЗП.

5. Встановлено, що механохімічне зношування формує знос ДФІ як основний чи додатковий процес протягом усього циклу обертання ФЦ. В контакті ФЦ і ДЦ основним видом зношення є втомне, що виникає через знакопостійне віднульове циклічне навантаження і є основною причиною утворення мікротріщин в ДЕ. Мікротріщини через наявність усіх видів впливу в ДК, які сприяють додатковим видам зношення – механохімічного (через взаємодію з фарбою і її агресивними сполуками), в тому числі фретинг-корозійного, електроерозійного та абразивного (через взаємодію з папером) – поступово збільшуються, викликаючи руйнування ЗП.

6. Виявлено, що зменшення кількості дефектів – концентраторів напружень на поверхні ГШ (тріщин, сколів, відшарування) може бути дієвим способом зменшення втомного руйнування захисного покриття. Для підвищення якості латунних форм, одержаних методом DLE+PVD, необхідно визначити режими та умови лазерної обробки, які забезпечували б одержання рівномірного профілю поверхні ДЕ і мінімальний вплив лазерного випромінювання на морфологію, структуру та властивості поверхневих шарів латунної основи.

## **РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ ІНТАГЛЮДРУКУ.**

### **4.1. Визначення засобів забезпечення якості форм інтаглюдруку.**

У аналітичних дослідженнях, наведених в розд. 1, нами виокремлено основні групи факторів, які впливають на тиражестійкість ДФІ [4], а в подальшому було уточнено з урахуванням проведеного комплексу досліджень [1, 5–10, 12–17], порівняно з попередніми дослідженнями [4] фактори, що є вирішальними для забезпечення якості ДФІ, та можливі засоби її підвищення [11]:

- корегування режимів DLE (потужність випромінювання, вид обладнання, що відрізняється тривалістю випромінювання);
- корегування параметрів ГШ (незалежних від заданих дизайном – вид профілю, симетричність профілю, кут нахилу стінок штриха, глибина (у визначених межах), співвідношення глибини і ширини);
- корегування режимів оброблення після DLE (хімічного очищення, чи хімічного і механічного очищення);
- корегування режимів попереднього оброблення PVD (тривалість, інтенсивність та вид іонно-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття);
- корегування режимів PVD (товщина ЗП (час напилення), відсотковий склад газової суміші  $Ar-N_2$  в камері напилення, склад (легкування) хромової мішені, температура підкладки (форми) під час PVD).

Таким чином, процес прийняття рішень щодо корегування режимів виготовлення ДФІ за методом DLE+PVD може розглядатися як задача багатокритеріального вибору, яку доцільно вирішити за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI), запропонованого Т. Сааті [156].

Формування домінантної ієрархії, за якою буде обрано один з варіантів ТП виготовлення форм, представлено на рис. 4.1.

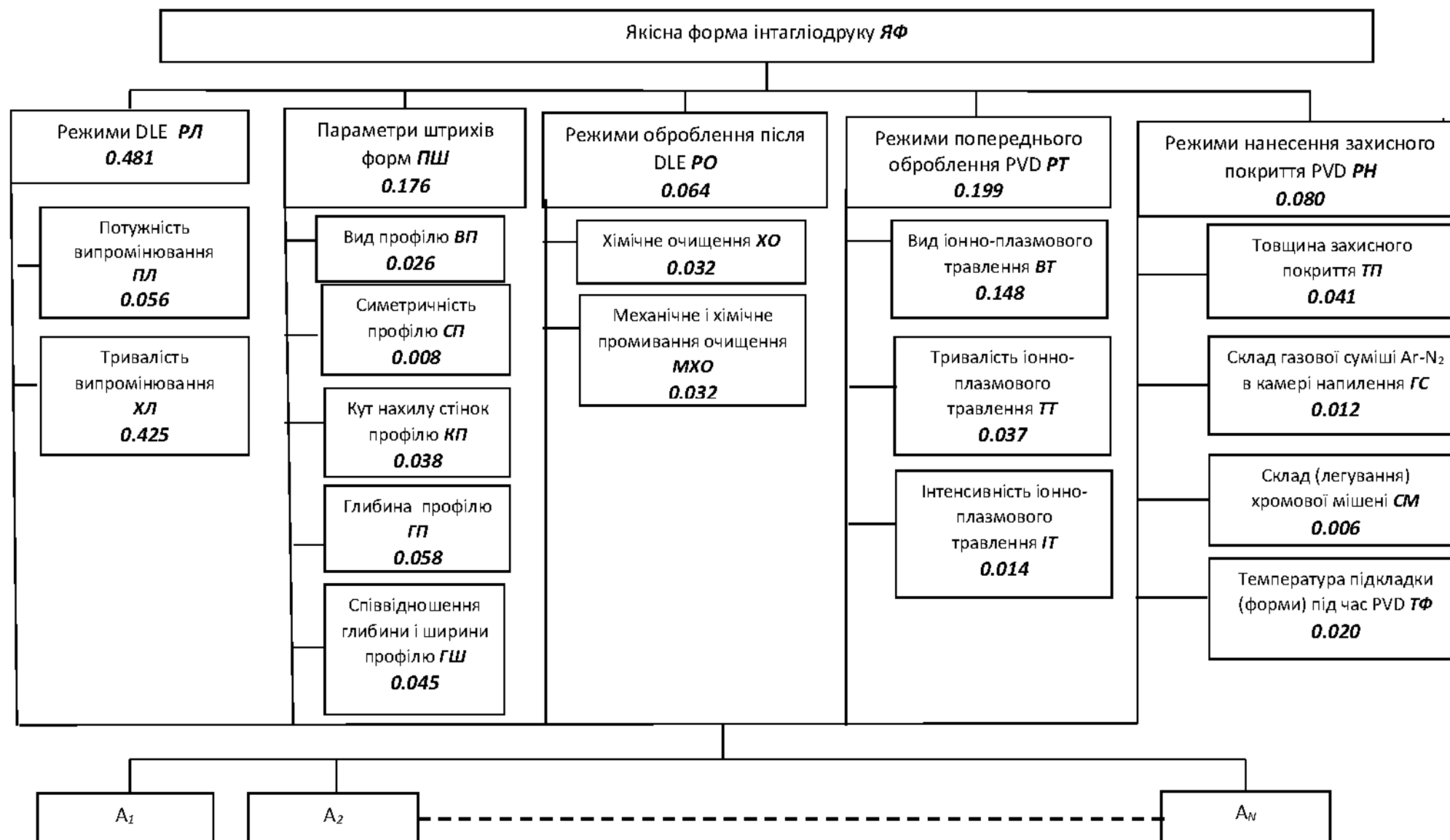


Рис. 4.1. Ієрархія факторів забезпечення якісних форм інтеглюдруку [11].

В результаті декомпозиції проблеми визначено, що альтернативами є варіанти ТП  $A_1 \dots A_N$ , які далі мають бути оптимізовані з урахуванням дій акторів – зазначених факторів впливу на досягнення глобальної мети – якісної форми ІД (такої, що забезпечує отримання максимальної кількості відбитків належної якості (чіткості і тактильності) [10]).

Оскільки кількість визначених факторів впливу перевищує 9, то доцільно провести їх кластерізацію задля визначення їх вагомості: факторами впливу є режими DLE, параметри ГШ форм, режими оброблення після DLE, режими попереднього оброблення PVD, режими нанесення ЗП PVD. Кожен з факторів характеризується підфакторами, описаними вище.

Наступним етапом є визначення пріоритетів всіх елементів ієрархії з використанням методу парних порівнянь. Матрицю парних порівнянь дій акторів – факторів впливу на досягнення глобальної мети наведено в табл. 4.1. Матриці парних порівнянь підфакторів в кластерах – в табл. 4.2–4.6.

Для зручності в матрицях парних порівнянь вжито умовні позначки для елементів ієрархій, наведені на рис. 4.1.

Під час формування матриць парних порівнянь використано традиційну для МАІ шкалу відношень з оцінками від 1 до 9 [148], котрим відповідають певні судження про значимість факторів чи дій: 1 – однакова значимість, 3 – слабка значимість (певне переважання значимості одного фактора над іншим), 5 – суттєва чи сильна значимість, 7 – дуже сильна або очевидна значимість, 9 – абсолютна значимість, 2, 4, 6, 8 – проміжні значення між сусідніми значеннями шкали, зворотні величини наведених вище чисел відповідають значимості факторів  $j$  у порівнянні з фактором  $i$  за умови, що фактору  $i$  приписується одне зі значень шкали.

Матриці парних порівнянь (табл. 4.1–4.6) сформовано на основі оцінок трьох експертів рівної компетентності [11].

Таблиця 4.1. Порівняння кластерів - дій акторів відносно глобальної цілі – якісної форми інтагліодруку[11] .

ЯФ	РЛ	ПШ	РО	РТ	РН	Вектор пріоритетів матриці факторів впливу на досягнення глобальної мети (0.481; 0.176; 0.064; 0.199; 0.080). Власне значення матриці $\lambda_{\max}=5,427$ , індекс узгодженості $IY=0,107$ , відношення узгодженості $BY=0,095$ .
РЛ	1.000	3.667	5.000	3.667	4.667	
ПШ	0.289	1.000	2.000	0.667	5.333	
РО	0.200	0.500	1.000	0.261	0.500	
РТ	0.289	1.667	4.000	1.000	2.000	
РН	0.217	0.189	2.000	0.500	1.000	

Найбільш вагомими факторами впливу на досягнення глобальної мети є кластери режими DLE (вагомість 0,481), режими попереднього оброблення PVD (вагомість 0,199) і параметри ГШ форми (вагомість 0,176).

Таблиця 4.2. Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів DLE [11].

РЛ	ПЛ	ХЛ	Вектор пріоритетів кластера (0.116; 0.884). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.056; 0.425). Матриця вважається узгодженою завдяки розмірності 2x2.
ПЛ	1.000	0.132	
ХЛ	7.667	1.000	

Найвагомішим вагомим підфактором є тривалість (частота) випромінювання.

Таблиця 4.3. Порівняння часткових дій акторів в межах кластера параметрів ГШ форм [11].

ПШ	ВП	СП	КП	ГП	ГШ	Вектор пріоритетів кластера (0.149; 0.048; 0.219; 0.330; 0.254). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.026; 0.008; 0.038; 0.058; 0.045). Власне значення матриці $\lambda_{\max}=5,343$ , індекс узгодженості $IY=0,086$ , відношення узгодженості $BY=0,077$ .
ВП	1.000	6.667	0.200	0.444	0.833	
СП	0.151	1.000	0.200	0.306	0.189	
КП	2.000	5.000	1.000	0.667	0.500	
ГП	2.333	3.333	1.667	1.000	2.000	
ГШ	1.333	5.333	2.000	0.500	1.000	

Найбільш вагомими підфакторами в кластері є глибина штрихів форми і співвідношення глибини і ширини профілю штриха.

Таблиця 4.4. Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів оброблення після DLE [11]

PO	ХО	МХО	Вектор пріоритетів кластера (0.500; 0.500). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.032; 0.032). Матриця вважається узгодженою завдяки розмірності 2x2.
ХО	1.000	1.167	
МХО	1.167	1.000	

Таблиця 4.5. Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів попереднього оброблення PVD[11] .

РТ	ВТ	ТТ	ІТ	Вектор пріоритетів кластера (0.745; 0.186; 0.069). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.148; 0.037; 0.014). Власне значення матриці $\lambda_{\max} = 3,104$ , індекс узгодженості $I_U = 0,052$ , відношення узгодженості $B_U = 0,090$ .
ВТ	1.000	5.333	8.333	
ТТ	0.189	1.000	3.667	
ІТ	0.122	0.289	1.000	

Найвагомішим підфактором кластера є вид іонно-плазмового травлення.

Таблиця 4.6. Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів нанесення ЗП PVD [11].

РН	ТП	ГС	СМ	ТФ	Вектор пріоритетів кластера (0.516; 0.155; 0.079; 0.249). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.041; 0.012; 0.006; 0.020). Власне значення матриці $\lambda_{\max} = 4,183$ , індекс узгодженості $I_U = 0,061$ , відношення узгодженості $B_U = 0,068$ .
ТП	1.000	3.667	4.333	3.000	
ГС	0.289	1.000	2.000	0.667	
СМ	0.244	0.500	1.000	0.217	
ТФ	0.333	1.667	4.667	1.000	

Найбільш вагомим підфактором кластера є товщина ЗП. Вагомості всіх факторів в межах кластерів зазначено на рис. 4.1 [11].

#### 4.2. Дослідження якості гравіювання зразків форм інтагліодруку.

Оскільки, як з'ясовано вище, технологічні параметри DLE та проєктовані параметри форм є вагомими засобами забезпечення якості форм, то дослідження було проведено нами задля визначення взаємозв'язку



параметрів ГШ форми до нанесення ЗП з технологічними параметрами DLE і визначення на цій основі напрямків цілеспрямованого формування якості ГШ для підвищення якості ДФІ.

#### **4.2.1. Дослідження відповідності профілю гравіюваних штрихів форми запроектованим.**

Досліджено МФ 2 [5, 6] (без захисного покриття, підрозд. 2.4.2). Встановлено, що всі ГШ цієї МФ мають суттєві відхилення від заданого геометричного профіля і зазвичай є несиметричними (табл. 4.7). Приклади мікрошліфів фактично отриманих профілів ГШ наведено у табл. 4.8.

Незважаючи на суттєві відмінності профіля, що був отриманий гравіюванням, і запроектованого, з погляду можливої тактильності відбитків (найсуттєвішого параметру ІД) переважна більшість режимів виготовлення і профілів забезпечує достатньо високу відповідність фактичної ширини ГШ (80–130%) запроектованому (рис. 4.2) [6]. Фактична глибина штриха змінюється суттєвіше – від 60 % від запроектованого до майже 200% (рис. 4.3) [6].

Негативним фактором є те, що така глибина подекуди досягається через краплеподібну видовжену форму ГШ, котра утворюється через неправильне фокусування лазерного випромінювання і утворення потужного теплового ядра усередині штриха під час гравіювання на перетяжці каустики випромінювання [157]. В окремих випадках ці краплеподібні виступи відокремлені від дна штриха шаром металу 20–30 мкм (рис. 4.4). Такі ж висновки щодо деформування форми штрихів через порушення фокусування лазерного променя під час гравіювання підтверджуються і даними досліджень морфології поверхні ДЕ цієї МФ за допомогою електронної мікроскопії (рис. 4.5), де видно, що по центральній частині штриха виникли заглиблення (наведено морфологію ті ж штрихів, що й на рис. 4.4).

Таблиця 4.7. Фактичні параметри ГШ, отриманих на МФ 2

Штрих	Ширина, мкм			Глибина, мкм			Площа, мкм2			Пошкодження стінок штриха, бали	Коефіцієнт забезпечення графічної чіткості відбитка	Коефіцієнт фарбоємності	Коефіцієнт втрати якості стінок штриха	Інтегральний коефіцієнт якості гравіювання	Профіль*	Потужність випромінювання
	Теор.	Практично		Теор.	Практично		Теор.	Практично								
		мкм	%		мкм	%		мкм	%							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	100.00	96.50	96.50	100.00	121.00	121.00	9461.00	4560.83	48.21	2.25	0.97	0.48	0.56	0.67	Ф	НЗН
2	30.00	40.75	135.83	20.00	28.25	141.25	600.00	521.99	87.00	0.13	0.64	0.87	0.03	0.77	П	НЗЛ
3	30.00	31.13	103.75	20.00	38.38	191.88	600.00	538.38	89.73	0.50	0.96	0.90	0.13	0.70		НЗМ
4	30.00	26.13	87.08	20.00	22.25	111.25	600.00	341.92	56.99	0.13	0.87	0.57	0.03	0.82		НЗН
5	30.00	41.13	137.08	30.00	43.25	144.17	900.00	643.10	71.46	0.50	0.63	0.71	0.13	0.69		НЗЛ
6	30.00	33.00	110.00	30.00	49.25	164.17	900.00	589.78	65.53	1.00	0.90	0.66	0.25	0.67		НЗМ
7	30.00	25.75	85.83	30.00	31.75	105.83	900.00	399.91	44.43	0.50	0.86	0.44	0.13	0.78		НЗН
8	60.00	64.38	107.29	60.00	79.25	132.08	3600.00	1962.35	54.51	1.63	0.93	0.55	0.41	0.69		НЗМ
9	60.00	52.75	87.92	60.00	68.13	113.54	3600.00	1453.48	40.37	1.25	0.88	0.40	0.31	0.71		НЗН
10	40.00	52.63	131.56	40.00	45.13	112.81	1600.00	1048.77	65.55	0.38	0.68	0.66	0.09	0.78		НЗЛ
11	40.00	43.00	107.50	40.00	73.50	183.75	1600.00	932.11	58.26	1.63	0.93	0.58	0.41	0.57		НЗМ
12	40.00	34.63	86.56	40.00	50.00	125.00	1600.00	648.35	40.52	1.00	0.87	0.41	0.25	0.69		НЗН
13	40.00	50.38	125.94	40.00	32.13	80.31	1080.40	611.20	56.57	0.75	0.74	0.57	0.19	0.73	Т, 60°	НЗЛ
14	40.00	36.50	91.25	40.00	44.88	112.19	1080.40	682.95	63.21	1.13	0.91	0.63	0.28	0.79		НЗМ
15	40.00	31.88	79.69	40.00	28.00	70.00	1080.40	450.89	41.73	0.63	0.80	0.42	0.16	0.69		НЗН

Таблиця 4.7 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	40.00	47.63	119.06	40.00	41.00	102.50	1358.80	832.27	61.25	0.63	0.81	0.61	0.16	0.81	Т, 75°	НЗЛ
17	40.00	37.00	92.50	40.00	59.13	147.81	1358.80	741.14	54.54	0.88	0.93	0.55	0.22	0.69		НЗМ
18	40.00	32.63	81.56	40.00	39.00	97.50	1358.80	538.32	39.62	0.63	0.82	0.40	0.16	0.76		НЗН
19	100.00	107.00	107.00	80.00	95.25	119.06	8000.00	5503.69	68.80	1.25	0.93	0.69	0.31	0.78	П	НЗМ
20	100.00	97.88	97.88	80.00	108.25	135.31	8000.00	4462.61	55.78	2.75	0.98	0.56	0.69	0.62		НЗН
21	100.00	98.75	98.75	80.00	76.63	95.78	5171.30	3241.19	62.68	1.13	0.99	0.63	0.28	0.82	Т, 60°	НЗМ
22	100.00	92.88	92.88	80.00	71.75	89.69	5171.30	2702.42	52.26	1.38	0.93	0.52	0.34	0.75		НЗН
23	100.00	100.57	100.57	80.00	92.00	115.00	6902.40	4348.97	63.01	1.43	0.99	0.63	0.36	0.78	Т, 75°	НЗМ
24	100.00	91.13	91.13	80.00	95.00	118.75	6902.40	3682.95	53.36	1.63	0.91	0.53	0.41	0.71		НЗН
25	100.00	102.13	102.13	100.00	114.13	114.13	10000.00	6356.61	63.57	0.75	0.98	0.64	0.19	0.82	П	НЗМ
26	100.00	98.13	98.13	100.00	130.50	130.50	10000.00	5089.58	50.90	1.63	0.98	0.51	0.41	0.69		НЗН
27	100.00	98.63	98.63	100.00	73.38	73.38	5323.60	3146.75	59.11	1.38	0.99	0.59	0.34	0.74	Т, 60°	НЗМ
28	100.00	91.00	91.00	100.00	79.88	79.88	5323.60	2541.18	47.73	2.38	0.91	0.48	0.59	0.65		НЗН
29	100.00	97.88	97.88	100.00	107.13	107.13	8109.16	4501.90	55.52	2.00	0.98	0.56	0.50	0.74	Т, 75°	НЗМ
30	100.00	88.50	88.50	100.00	99.38	99.38	8109.16	3284.40	40.50	2.88	0.89	0.41	0.72	0.64		НЗН

\* - тут позначення форми профілю: Ф – фасонний; П – прямокутний; Т - трапецієподібний

Таблиця 4.8. Приклади фактично отриманих профілів ГШ

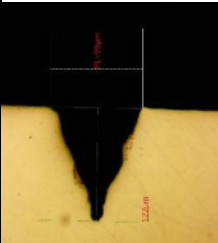



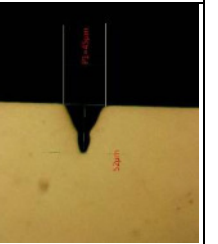

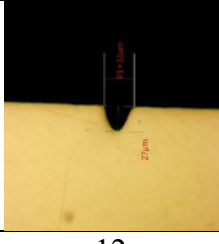
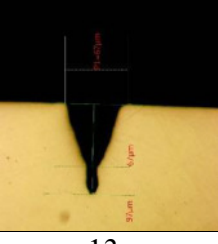
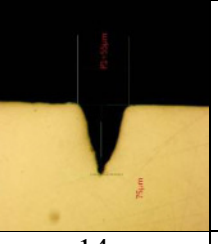
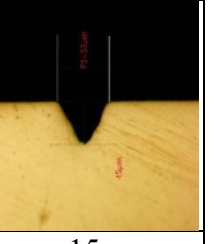
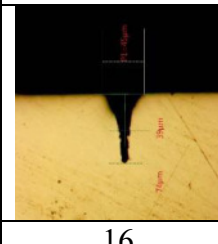

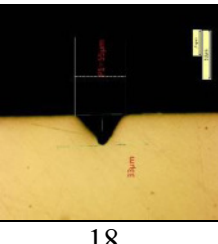
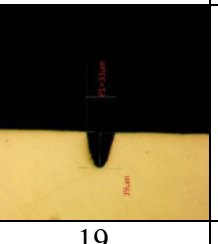

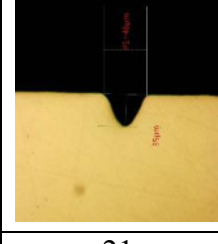
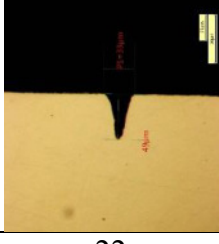
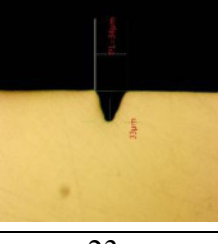
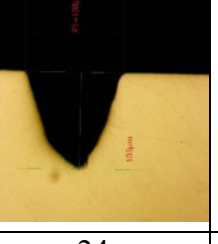
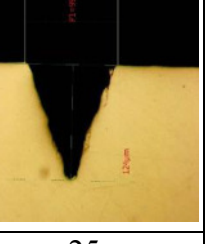
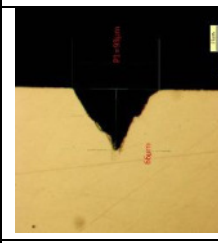
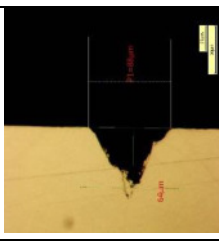
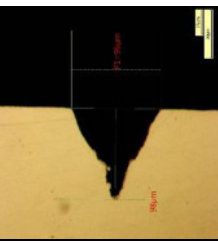
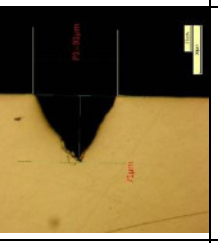
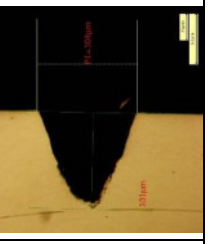
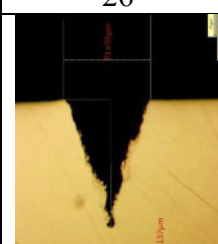
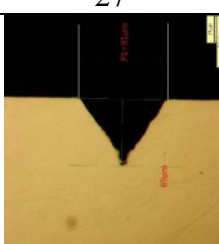
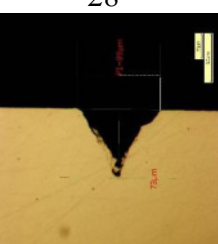
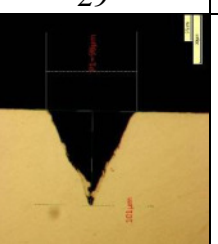
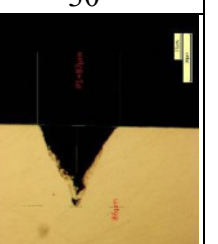
№	1	2	3	4	5
Профіль					
№	6	7	8	9	10
Профіль					
№	11	12	13	14	15
Профіль					
№	16	17	18	19	20
Профіль					
№	21	22	23	24	25
Профіль					
№	26	27	28	29	30
Профіль					



Рис 4.2. Фактична ширина штрихів МФ 2 порівняно із запроєктованим профілем [6] .



Рис 4.3. Фактична глибина штрихів МФ 2 порівняно із запроєктованим профілем [6].

З табл. 4.8 видно, що всі штрихи, незалежно від запроєктованої форми мають трикутний профіль за заданих ширин штрихів. За підсумками оброблення зображень шліфів з використанням програмних засобів додатку *DLEScript* [5] (підрозд. 2.6.5) було встановлено фактичну площу перетину ГШ форми (рис. 4.6) порівняно із запроєктованою, наведеною в табл 2.5 підрозд. 2.4.2. Через суттєве відхилення профілю від запроєктованого площа перетину ГШ перебуває переважно в межах 40–90 % від запроєктованого. Найкращі геометричні параметри мають ГШ невеликого розміру (№ 2 і № 3, рис. 4.6).

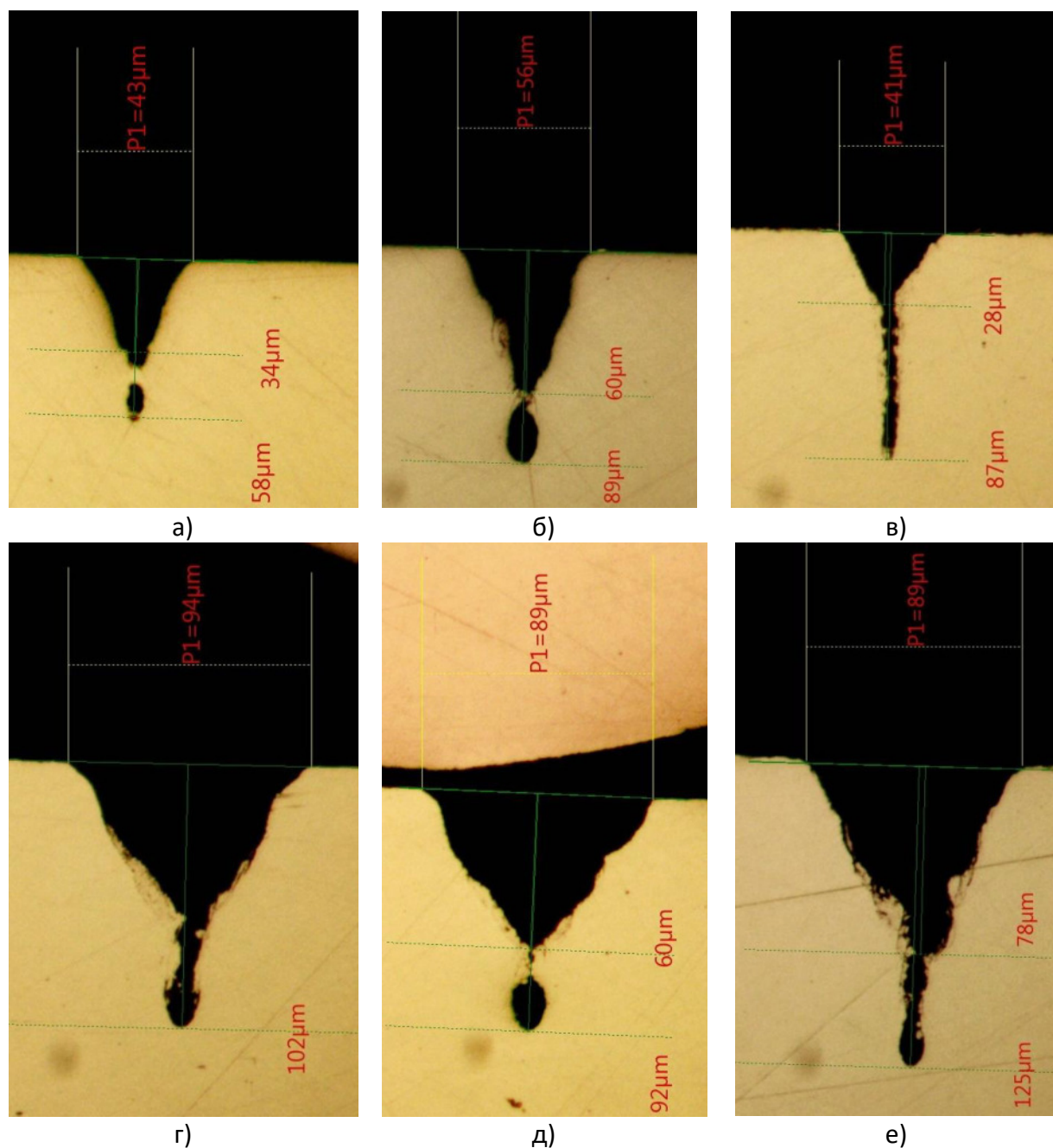


Рис. 4.4. Деформування форми штрихів через порушення фокусування лазерного променя під час гравіювання: а – штрих 5 ( $a = 30$  мкм); б – штрих 9 ( $a = 60$  мкм); в – штрих 11 ( $a = 40$  мкм); г – штрих 24 ( $a = 80$  мкм); д – штрих 28 ( $a = 100$  мкм); е – штрих 30 ( $a = 100$  мкм). Тут  $a$  – запроєктована глибина штриха, мкм.

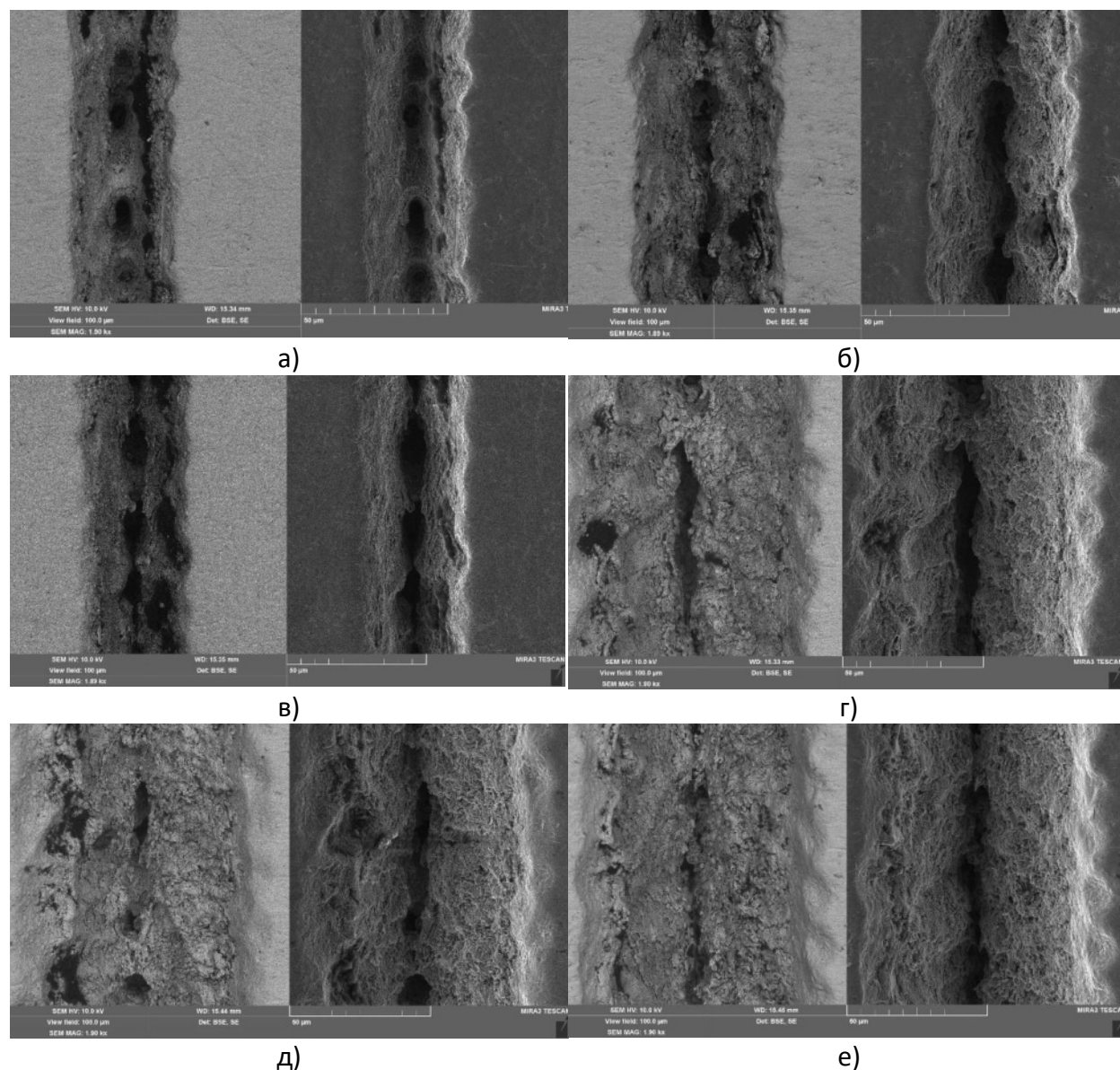


Рис. 4.5. Електронно-мікроскопічні дослідження збільшення глибини ДЕ форми через порушення фокусування лазерного променя під час гравіювання: а – штрих 5 ( $a=30$  мкм); б – штрих 9 ( $a=60$  мкм); в – штрих 11 ( $a=40$  мкм); г – штрих 24 ( $a=80$  мкм); д – штрих 28 ( $a=100$  мкм); е – штрих 30 ( $a=100$  мкм). Тут  $a$  – запроектована глибина штриха, мкм.

Отже, хоча фактична ширина штрихів і їх глибина в середньому є близькими до запроектованих, площа перетину штрихів, яка визначає їх фарбоємність, відрізняється від запроектованих суттєвіше (рис. 4.6).

Варіювання потужності випромінювання під час гравіювання впливає суттєво на якість відтворення запроектованих геометричних параметрів



штрихів: зниження потужності випромінювання лазерного устаткування дозволяє забезпечити кращу якість відтворення геометричних параметрів штриха (рис. 4.7). Також вплив має запроєктована форма: трапецієподібна форма дозволяє отримати більшу відповідність геометричних параметрів штрихів, тоді як за фарбоємністю (площею перетину штриха) проєктовані профілі майже не мають відмінностей (рис. 4.8).



Рис 4.6. Фактична площа перетину штрихів МФ 2 порівняно із запроєктованим профілем [5].

#### 4.2.2. Дослідження якості поверхні гравійованих штрихів форми після *DLE*.

Відповідно до розроблених принципів бального оцінювання на основі порівняння зі зразком за 5-бальною шкалою: (підрозд. 2.6.6, табл. 2.7), проведено оцінювання якості поверхні ГШ [6].

Результати його показали (рис. 4.9), що ступінь пошкодження стінок ГШ суттєво залежить від потужності обробки: зниження потужності випромінювання лазерного устаткування дозволяє як забезпечити кращу якість відтворення геометричних параметрів ГШ (рис. 4.6), так і забезпечити



кращу якість поверхні штриха (рис. 4.9). Останнє є особливо важливим фактором забезпечення належного рівня адгезії ЗП до латунної основи.

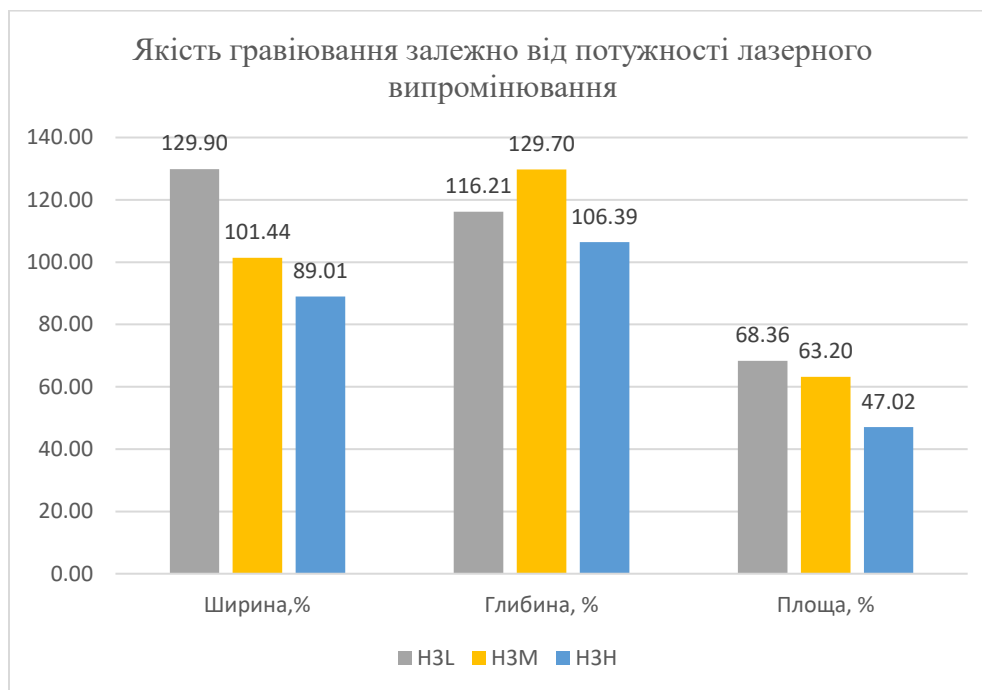


Рис 4.7. Геометричні параметри штрихів МФ 2 залежно від потужності випромінювання [6].

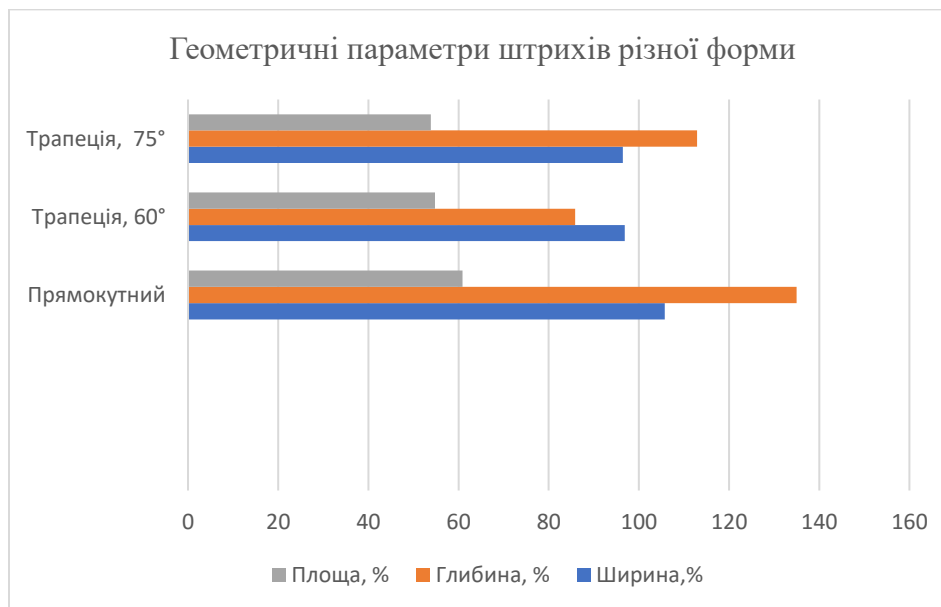


Рис 4.8. Геометричні параметри штрихів МФ 2 залежно від запроєктованої форми штриха [6].



Рис 4.9. Ступінь пошкодження штрихів модельної форми в балах[6] .

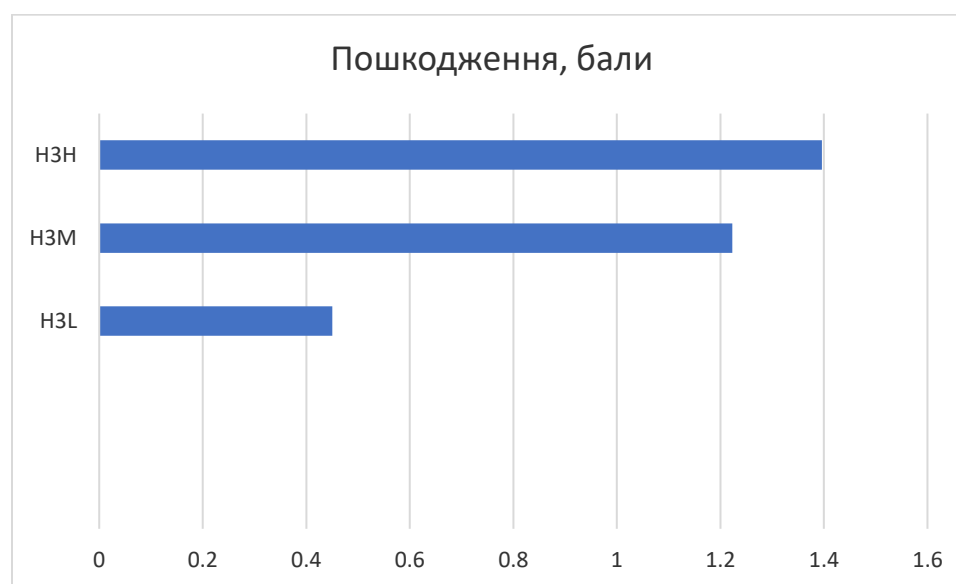


Рис 4.10. Ступінь пошкодження штрихів модельної форми в балах залежно від потужності випромінювання [6].

З погляду якості поверхні штрихів кращі параметри мають прямокутні профілі (рис. 4.11). Такі висновки щодо стану поверхні штрихів підтверджуються і даними досліджень морфології поверхні пробільних та друкарських елементів модельної форми за допомогою електронної мікроскопії (рис. 4.12, 4.13).

Такі результати свідчать про необхідність введення поправочних коефіцієнтів у робочому потоці *DLE*.

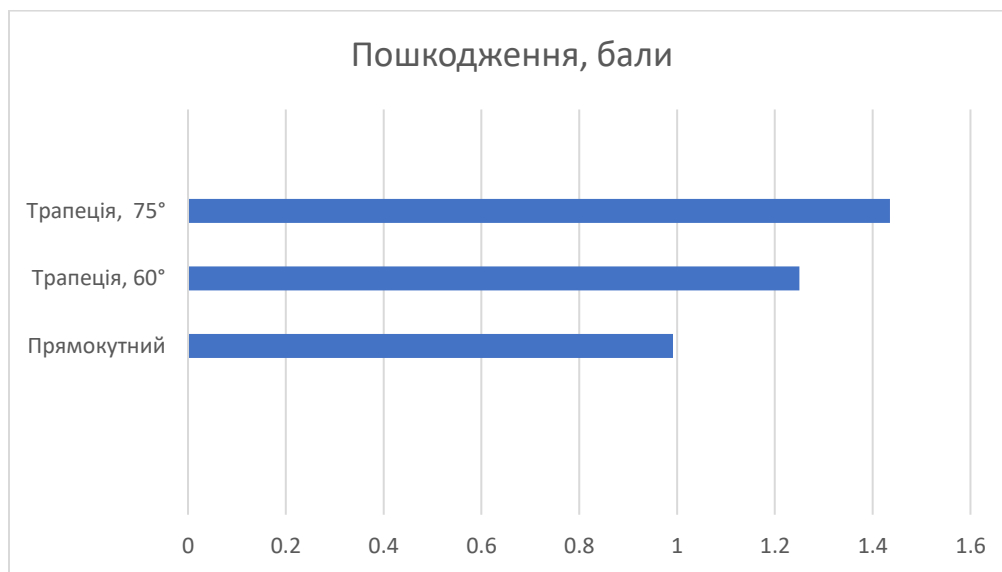


Рис 4.11. Ступінь пошкодження штрихів модельної форми в балах залежно від запроєктованої форми штриха[6] .

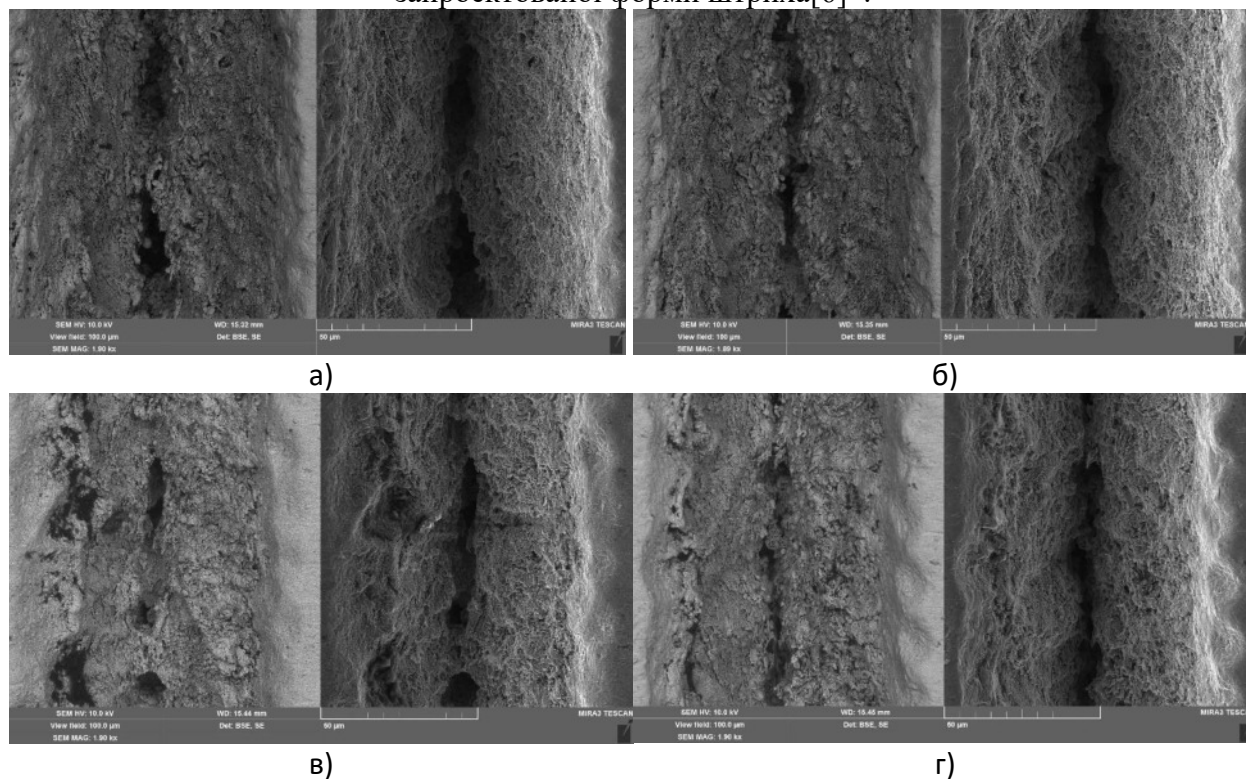


Рис. 4.12. Результати електронно-мікроскопічні досліджень морфології друкувальних елементів з найгіршою якістю стінок штрихів: а – штрих 1 (2,25 балів); б – штрих 20 (2,75 балів); в – штрих 28 (2,38 балів); г – штрих 30 (2,88 балів).

### **4.3. Дослідження альтернативних технологій забезпечення якості форм інтагліодруку - порівняльний аналіз якості друкарських елементів, гравійованих із застосуванням обладнання Jura DLE та Piranha µ Pico (модельна форма 3).**

Альтернативні варіанти ТП виготовлення ДФІ з урахуванням дій акторів – факторів впливу на досягнення глобальної мети – якісної форми інтагліодруку (такої, що забезпечує отримання максимальної кількості відбитків належної якості (чіткості і тактильності)) було визначено нами з урахуванням вагомості факторів забезпечення якості (рис. 4.1):

- корегування режимів DLE (потужність випромінювання, вид обладнання, що відрізняється тривалістю імпульсів випромінювання);
- корегування параметрів штрихів (незалежних від заданих дизайном – вид профілю, симетричність профілю, кут нахилу стінок штриха, глибина (у визначених межах), співвідношення глибини і ширини);
- корегування режимів оброблення після DLE (хімічного очищення, чи хімічного і механічного очищення).

Також враховано можливості наявного обладнання для досліджень (альтернативні лазерні системи гравіювання). Корегування режимів попереднього оброблення PVD (тривалість, інтенсивність та вид іонно-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття) та корегування режимів PVD (товщина захисного покриття (час напилення), відсотковий склад газової суміші Ar–N<sub>2</sub> в камері напилення, склад (легування) хромової мішені, температура підкладки (форми) під час PVD) варто буде дослідити в подальшому, оскільки наявне обладнання не надає такої можливості.

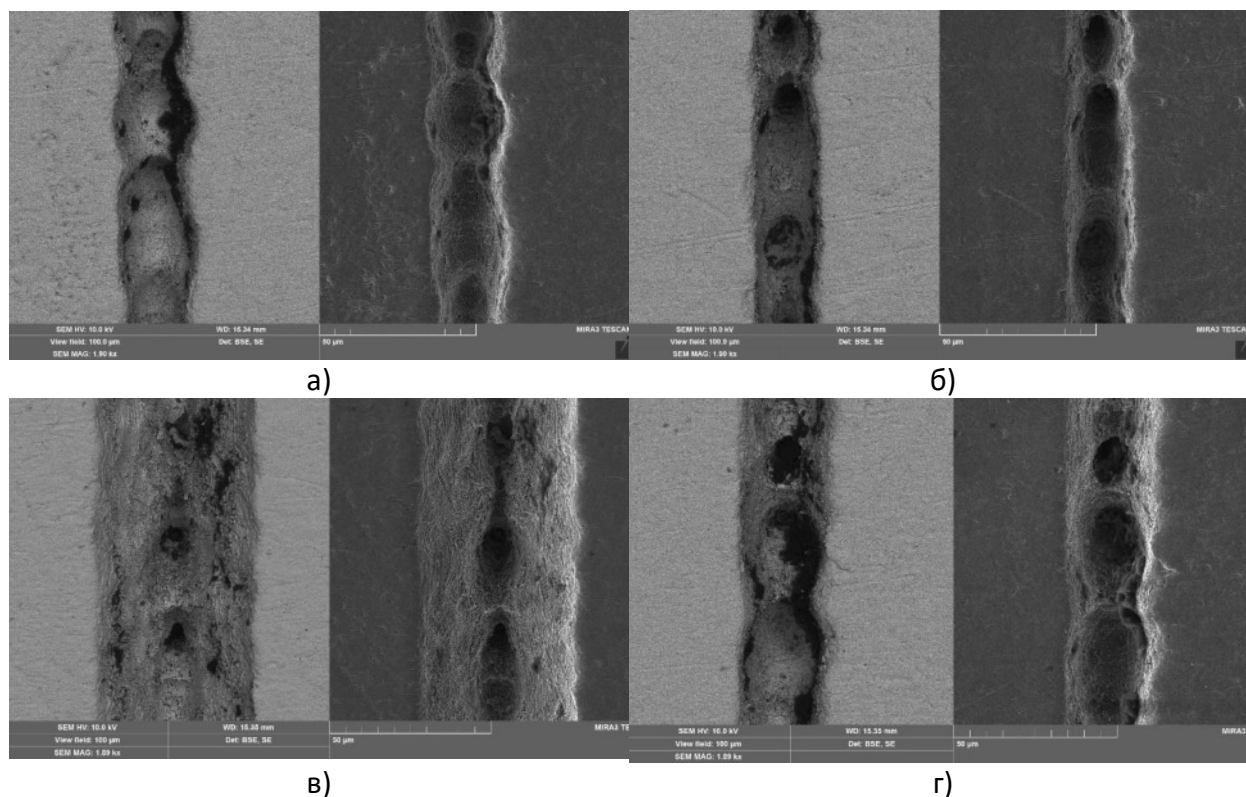


Рис. 4.13. Результати електронно-мікроскопічні досліджень морфології друкувальних елементів з найкращою якістю стінок штрихів: а – штрих 4 (0,13 балів); б – штрих 7 (0,5 балів); в – штрих 10 (0,38 балів); г – штрих 15 (0,63 балів).

#### 4.3.1. Дослідження форми штрихів.

Для МФ 2, результати досліджень якої наведено в підрозд. 4.2, було запроєктовано переважно дрібні (шириною до 100 мкм) штрихи. Тому подальше дослідження ширших (до 300 мкм) штрихів дозволило додатково уточнити особливості їх формоутворення, а також залежність від параметрів лазерного устаткування. Надалі будемо позначати вид обладнання Jura DLE як Л1, Piranha μ Pico – Л2.

Виявлено, що найдрібніші штрихи (шириною до 40 мкм, глибиною до 40 мкм) після DLE, незалежно від того, що їх запроєктовано прямокутними, і незалежно від виду обладнання, завжди мають трикутний профіль (рис. 4.14).

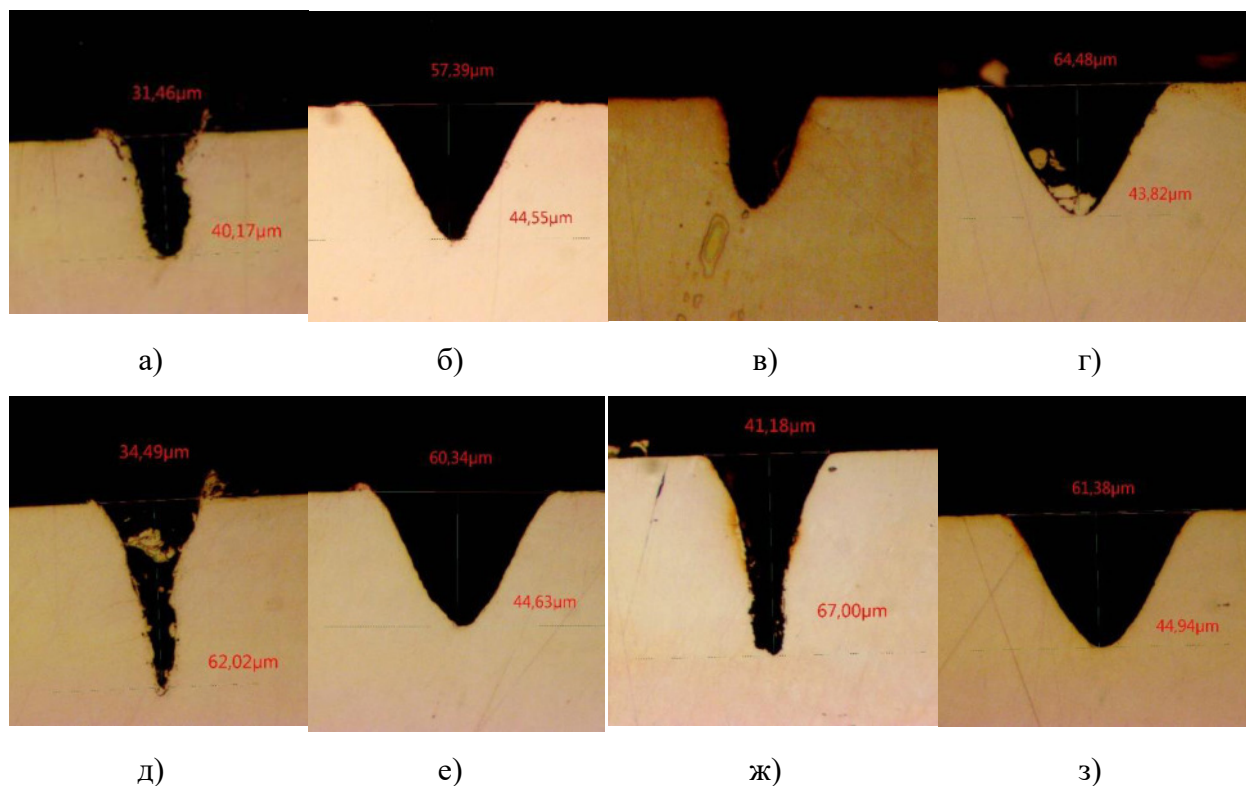


Рис. 4.14. Приклади фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ: а-г – штрих 13; д-з – штрих 20; а, д – Л1, без очищення; б, е – Л2, без очищення; в, ж – Л1, з очищенням; г, з – Л2, з очищенням.  $\times 400$ .

За умови застосування Л2 збільшення ширини і глибини до 60 мкм дозволяє отримати штрих згладженої, умовно трапецієподібної форми із заокругленим дном (рис. 4.15).

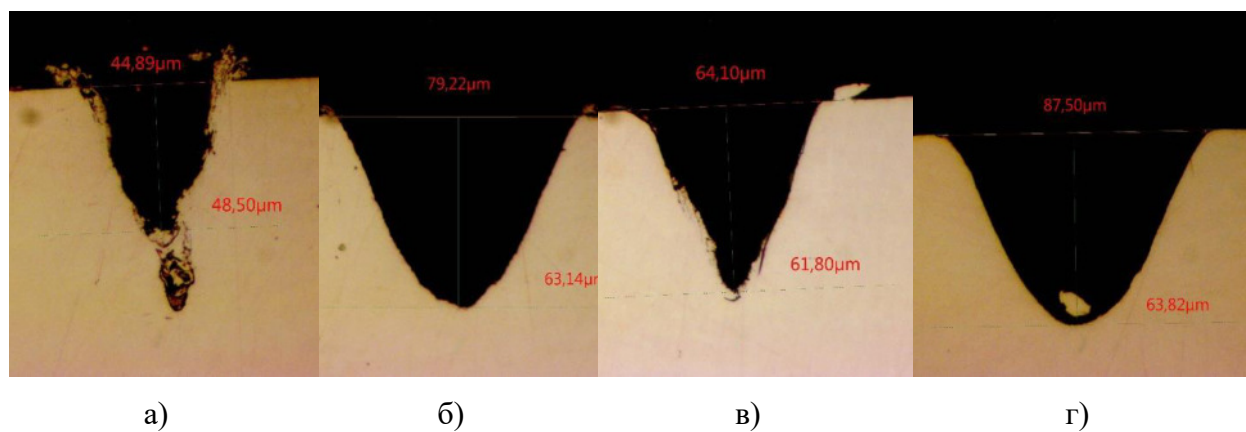


Рис. 4.15. Приклади фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ, штрих 23: а – Л1, без очищення; б – Л2, без очищення; в – Л1, з очищенням; г – Л2, з очищенням.  $\times 400$ .

Використання Л2 за ширини 100 мкм та глибини 80–100 мкм дозволяє також отримати умовно трапецієподібну форму штриха із дещо заокругленим дном (рис. 4.16).

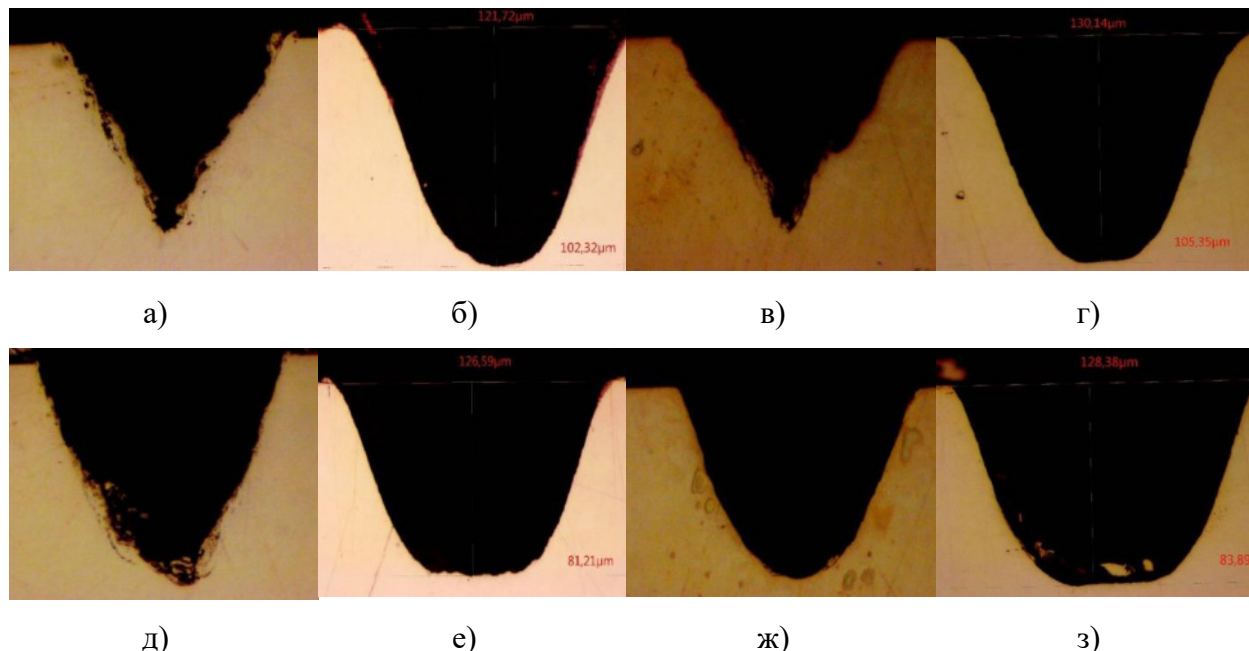


Рис. 4.16. Приклади фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ: а-г – штрих 1; д-з – штрих 12; а, д – Л1, без очищення; б, е – Л2, без очищення; в, ж – Л1, з очищенням; г, з – Л2, з очищенням.  $\times 400$ .

Збільшення запроектованої ширини штриха до 140 мкм (штрихи 30–38) дозволяють отримати штрихи трапецієподібної форми з використанням Л2, а у частині штрихів – і Л1 (рис. 4.17). На штрихах невеликої глибини (20 мкм, рис. 4.17 в, г) після очищення на межі ДЕ-ПЕ проявляються зони відпалу, що може призвести до знеміцнення структури.

Для штрихів глибиною 40 мкм (Л1, рис. 4.17 д, ж) трапецієподібна форма починає втрачатися, на відміну від Л2 (рис. 4.17 е, з). Збільшення глибини гравіювання до 80 мкм призводить до повної втрати трапецієподібного профілю штриха для Л1 (рис. 4.17 і, л), але зберігається такий профіль для Л2 ((рис. 4.17 к, м).



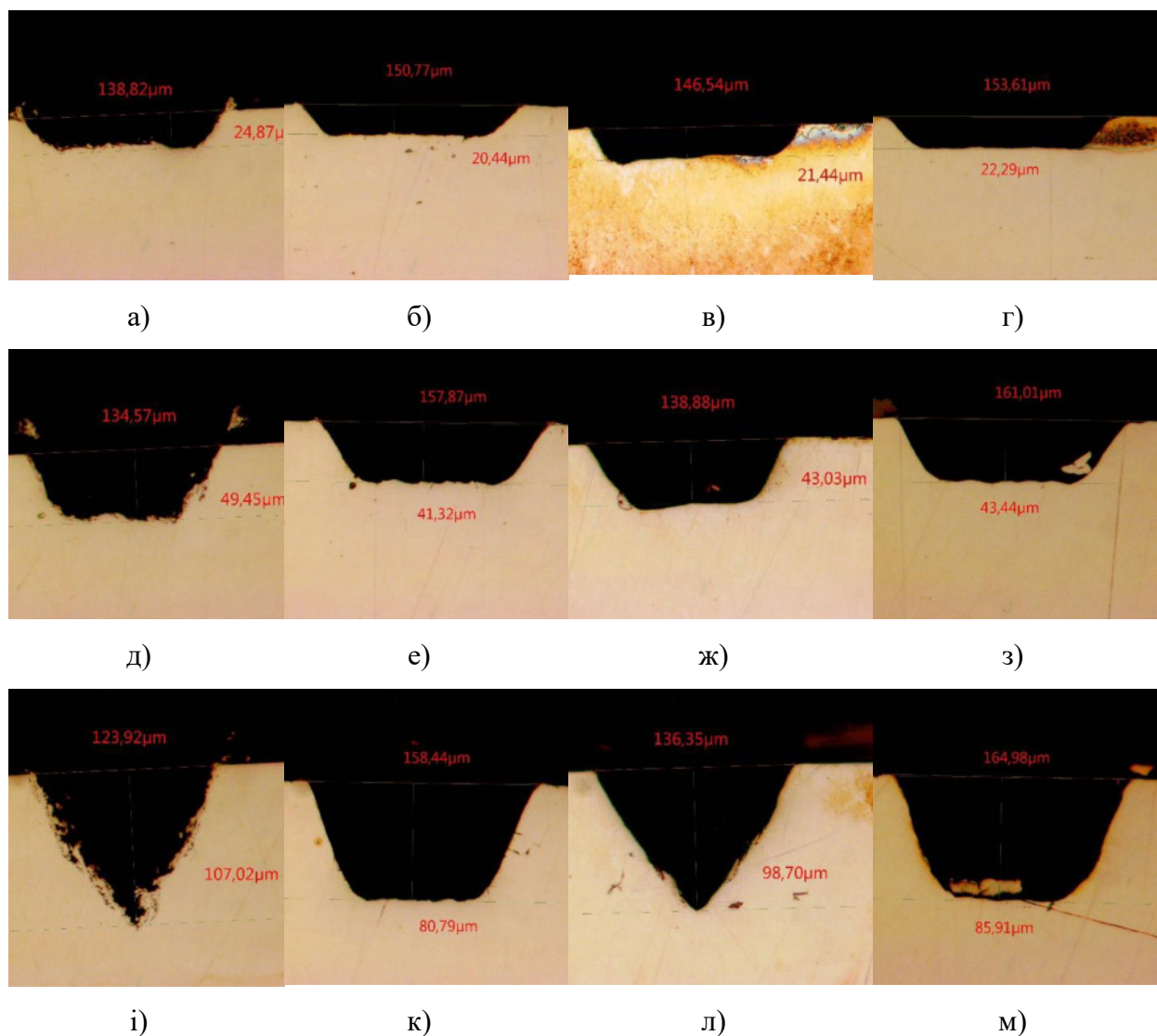


Рис. 4.17. Приклади фактично отриманих профілів гравійованих друкувальних елементів: а-г – штрих 30; д-з – штрих 33; а, д – Л1, без очищення; б, е – Л2, без очищення; в, ж – Л1, з очищенням; г, з – Л2, з очищенням.  $\times 200$ .

Для штрихів шириною 300 мкм (рис. 4.18) для Л2 витримується високоякісний трапецієподібний профіль для різних глибин гравіювання (рис. 4.18 б, г, е, з), тоді як для Л1 профіль є умовно трапецієподібним з суттєвими нерівностями дна і стінок (рис. 4.18 а, в, д, ж).

Загалом, дослідження форми ГШ дозволяє зробити висновок, що, незважаючи на проектування форми штрихів прямокутною, жоден з профілів



не є прямокутним. Визначені, відповідно до розробленої методики, кути нахилу стінок штрихів –  $53\text{--}65^\circ$  (рис. 4.19).

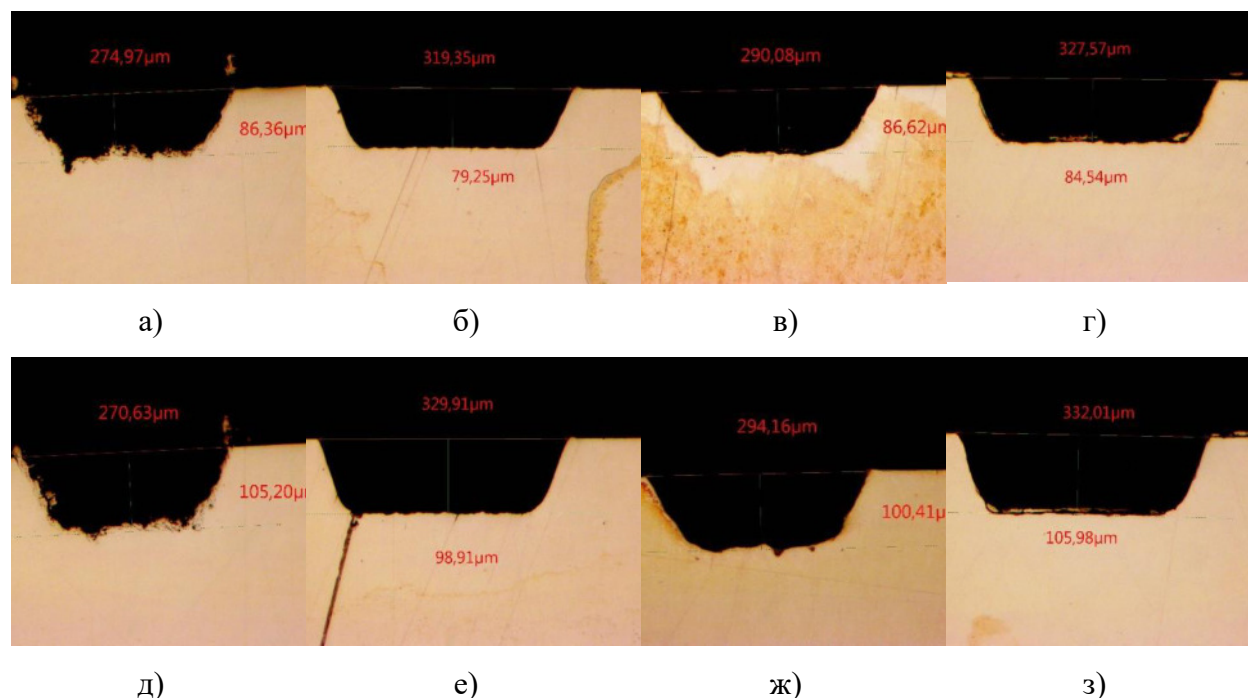
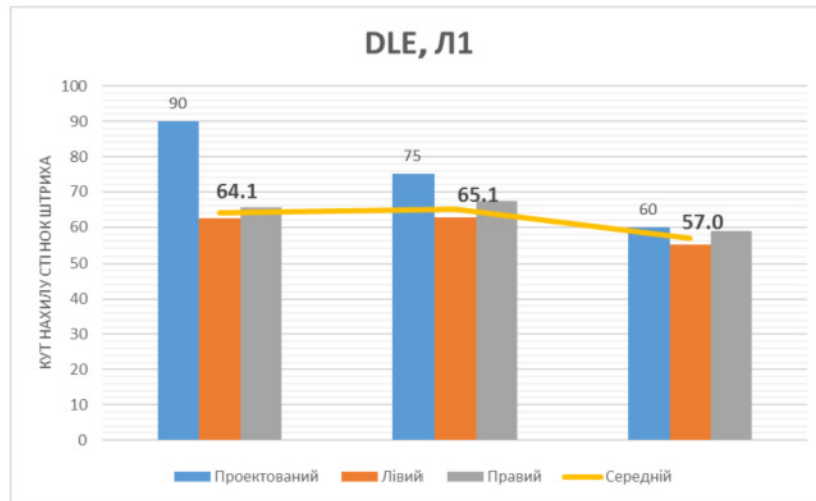


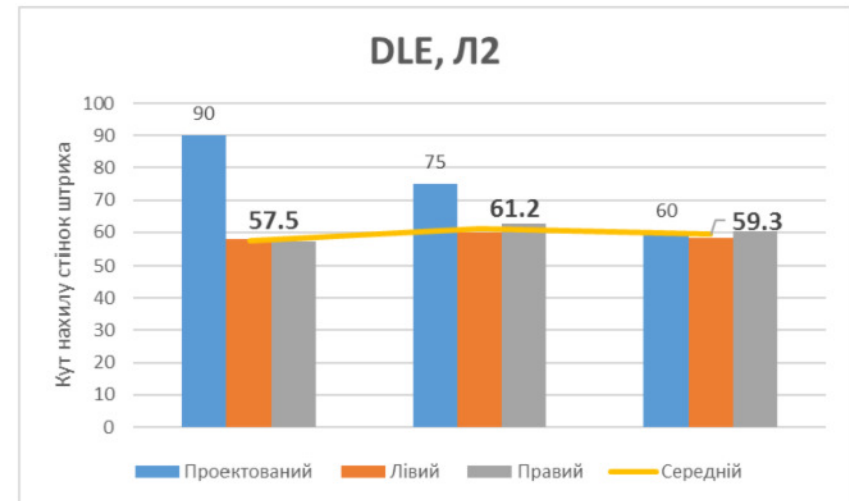
Рис. 4.18. Приклади фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ: а-г – штрих 42; д-з – штрих 44; а, д – Л1, без очищення; б, е – Л2, без очищення; в, ж – Л1, з очищенням; г, з – Л2, з очищенням.  $\times 100$ .

Також варто зауважити, що традиційно проєктований для трапецієподібних профілів *Ink Holder* («заплечики», рис. 2.1 а) не було виявлено на жодному штрихові на будь-яких стадіях оброблення.

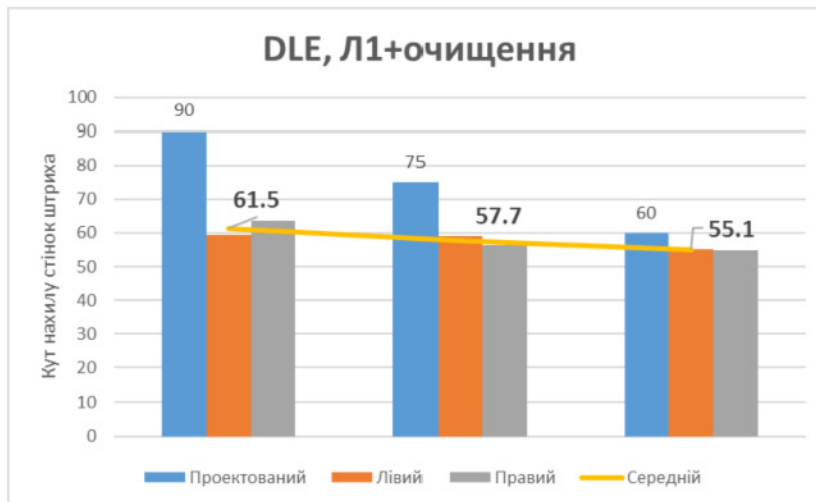
Також немає чітко встановленої кореляції між кутом нахилу стінок штрихів та потужністю лазерного гравіювання для обох досліджуваних лазерних систем (рис. 4.20). Вбачається лише, що Л2 на середній потужності оброблення забезпечує більшу стабільність форми. Таким чином, варто проєктувати і враховувати під час прилагоджування, що фактичний профіль штрихів є трапецієподібним з кутом нахилу стінок  $53\text{--}65^\circ$ . Такий висновок можна зробити і на основі аналізу поперечного перетину штрихів модельної форми 1 і 2 (розділ 3 і підрозд. 4.2).



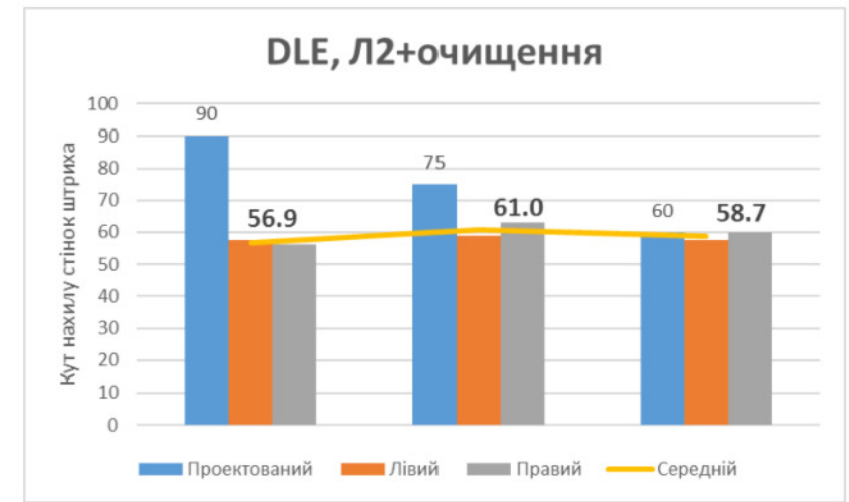
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.19. Кут нахилу стінок штрихів фактично отриманих профілів гравійованих друкувальних елементів залежно від проектного профілю: а, в – Л1; б, г – Л2; а, б – одразу після DLE; в, г – після хімічного очищення.

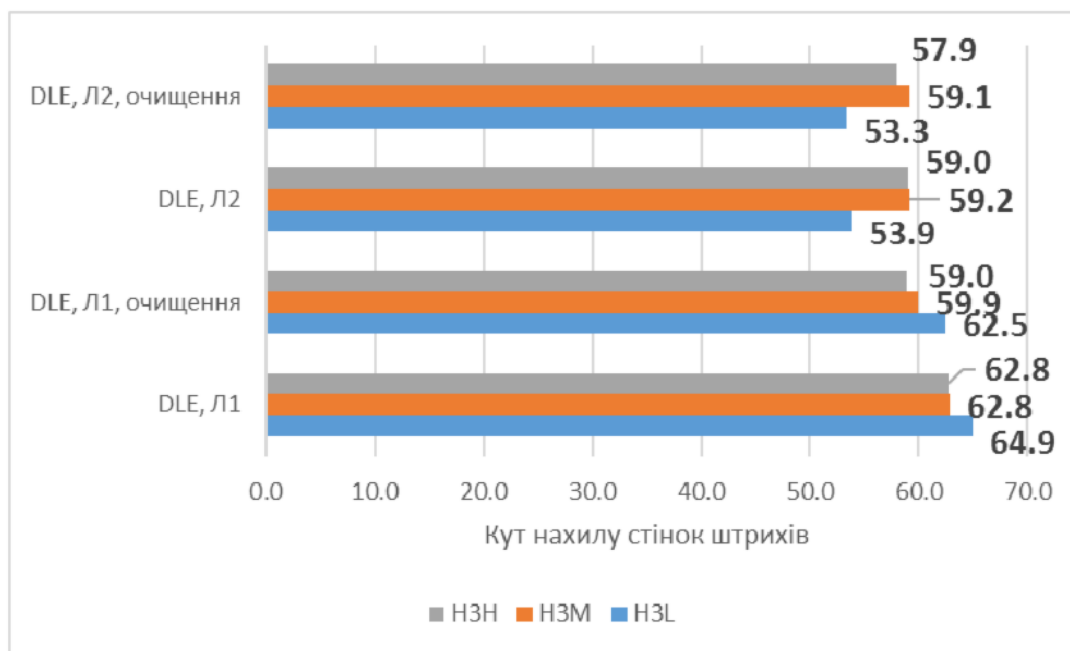


Рис. 4.20. Кут нахилу стінок штрихів фактично отриманих профілів гравійованих друкувальних елементів залежно від потужності лазерного гравіювання.

#### 4.3.2. Взаємозв'язок форми фарбового рельєфу інтагліодруку та гравійованих штрихів форм інтагліодруку.

Якість виготовлення ДФІ забезпечується дотриманням норм на усіх етапах виготовлення, в тому числі і на етапі *DLE*. Форма ГШ після етапу *DLE*, закладається на етапі проектування і розроблення електронного файлу даних для етапу *DLE*. Враховуючи увесь комплекс даних досліджень щодо відповідності профілю ГШ форми запроектованим, необхідно брати до уваги, що форма фарбового рельєфу, якій утворюється на відбитку, за будь-якої запроектованої форми штрихів є краплеподібною (рис. 4.21 [20, 93]), що повністю підтверджується й іншими дослідниками [37, с. 116].

У роботі [93] на основі детального дослідження форми фарбового рельєфу за допомогою оптичного мікроскопічного дослідження мікротомальних зрізів паперу, задрукованого ІД, визначено, що лівий крайовий кут становить до 58°, правий – до 48°. Причому, в роботі [20] не

зазначено метод виготовлення форми, хоча період, коли проведено ці дослідження, дозволяє обґрунтовано визначити, що форми виготовлено за класичною технологією (розд.1). В роботі [93] досліджено фарбові рельєфи, отримані за допомогою форм, виготовлених за технологією *DLE*, ЗП на яких нанесено гальванічним способом.

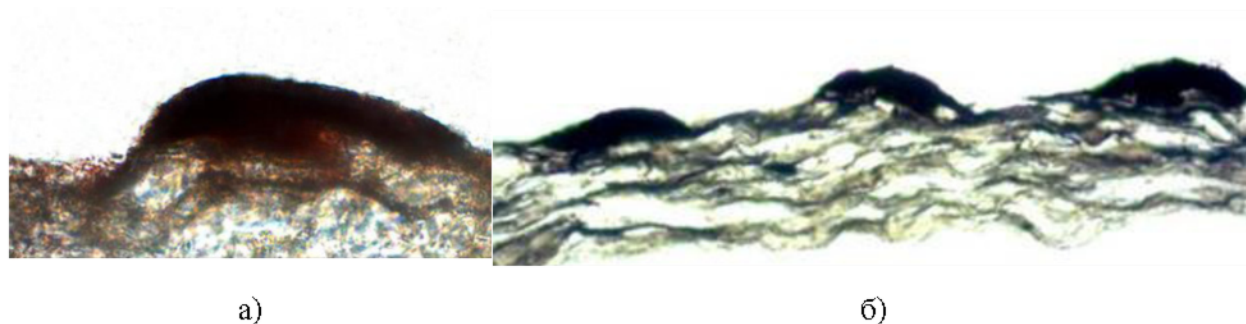


Рис. 4.21. Зрізи паперу, задрукованого ІД, за даними різних авторів: а – за даними [20], збільшення 400×; б – за даними [93], збільшення 100×.

Утворення такої форми фарбового рельєфу і кутів на відбитках автори [20, 93] обґрунтовували дією сил капілярного натягу фарби ІД і різкою зміною її реологічних властивостей після виходу з ДК. Однак, ми бачимо (рис. 4.19, 4.20), що фактичний кут нахилу стінок штриха становить  $53\text{--}65^\circ$ , незалежно від запроєктованого профілю.

Таким чином, основним чинником формування краплеподібного профілю фарбового рельєфу ІД є саме трапецієподібна або трикутна, залежно від розмірів, форма ГШ, а кут нахилу сторін фарбового рельєфу відрізняється від фактичної форми на  $5\text{--}7^\circ$  (тобто 10–15%).

#### 4.3.3. Дослідження розмірів гравійованих штрихів.

Дослідження форми ГШ показало, що лазерна система Л2 не лише дозволяє отримати симетричний чіткий трапецієподібний профіль, але й забезпечує суттєво більшу відповідність глибини гравіювання (рис. 4.22): якщо система Л1 має відносну похибку на всьому діапазоні глибин

гравіювання 24,1 %, то система Л2 – 9,8 %, тобто в 2,5 разу менше. Глибина гравіювання Л2 є стабільно більшою, ніж запроектований профіль, на товщину ЗП. Отже, після нанесення ЗП похибку, фактично, буде усунуто, що було підтверджено подальшими дослідженнями форми після PVD, де встановлено, що товщина ЗП становить 3–4 мкм.

Також встановлено, що лазерна система Л2 дозволяє забезпечити стабільні, з суттєво меншим стандартним відхиленням розміри штрихів (рис. 4.23, 4.24). Дослідження стабільності відтворення запроектованих ширини і глибини ГШ з побудовою контрольних  $\bar{X}$ -карт Шухарта [158] підтвердило що лазерна система Л2, на відміну від Л1, забезпечує статистично відповідні запроектованим параметри глибини гравіювання (рис. 4.24) на всіх досліджених параметрах ГШ. Видно, що глибина гравіювання Л2, як вже зазначалося вище, є стабільно більшою, ніж запроектований профіль, на контрольній карті наближена до центральної лінії, не виходить за верхню та нижню контрольні межі.

Якщо за стабільністю глибини гравіювання Л2 має незаперечні переваги порівняно з Л1, то за шириною штриха за всіма дослідженнями можна зробити висновок, що, розкид результатів для усіх груп Л2 є меншим (рис. 4.23 б), ніж у Л1, але через недосконалість налаштувань обладнання Л2, яке не є призначеним для операції DLE і використовувалося з експериментальною метою, середнє значення ширини усіх штрихів має систематичну похибку в бік збільшення на 10-25% (рис. 4.25). В подальшому це потребує урахування під час формування робочого потоку підготовки файлів DLE.

#### **4.3.4. Якість поверхні гравіюваних штрихів.**

Як вже зазначалося вище, в дослідженнях, проведених щодо МФ 2, виявлено суттєві пошкодження стінок ГШ під час використання лазерної системи Л1 (підрозділ 4.2).

Використання експериментального ТП гравіювання лазером Л2 (який, власне, не є спеціалізованим обладнанням для гравіювання форм), котрий має суттєво вищу частоту імпульсів, отже є більш прецизійним, мало на меті встановити його (чи його аналогів належного призначення) властивостей щодо забезпечення якості ГШ на латуні. Припущення щодо його спроможності забезпечити високу якість гравіюваних поверхонь повністю підтвердилося.

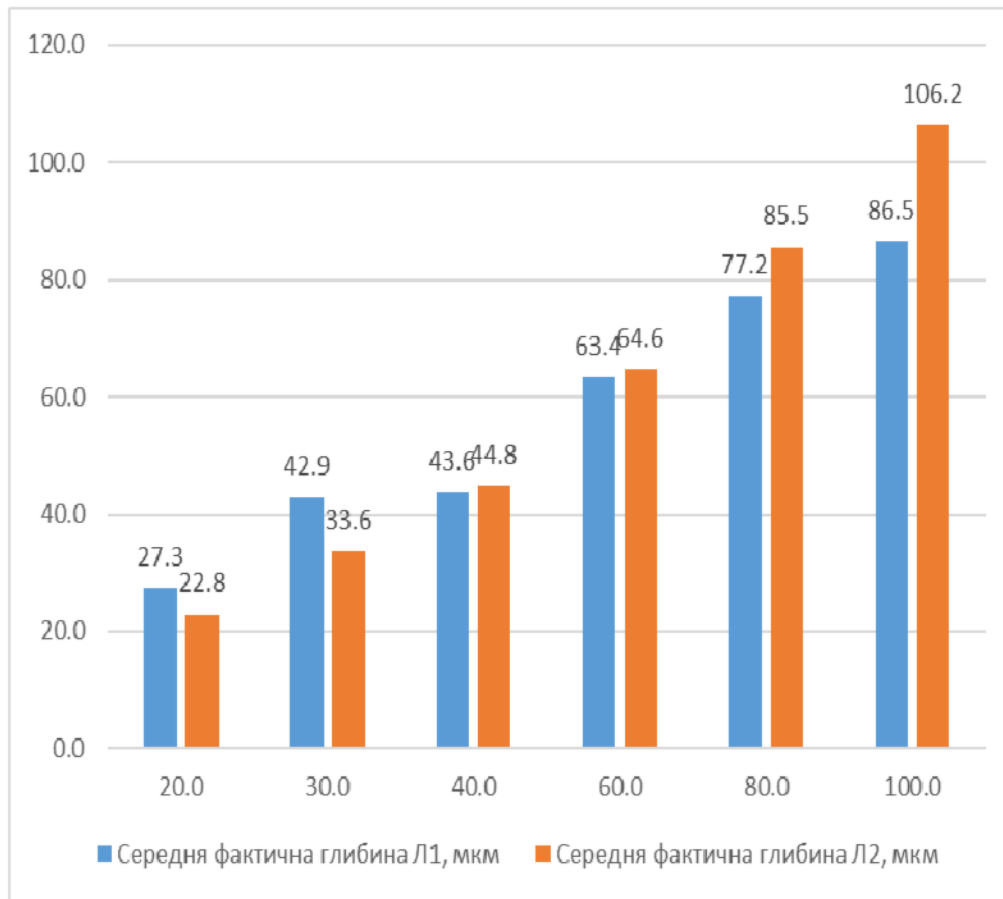
Аналізуючи стан ГШ відповідно до розробленої методики і шкали оцінювання нами запропоновано коефіцієнт якості стінок штриха  $k_{surface}$ , який характеризує стан поверхні штрихів визначимо так:

$$k_{lsurface} = 1 - \frac{k_{stroke\ loss}}{k_{max\ loss}} \quad (4.1)$$

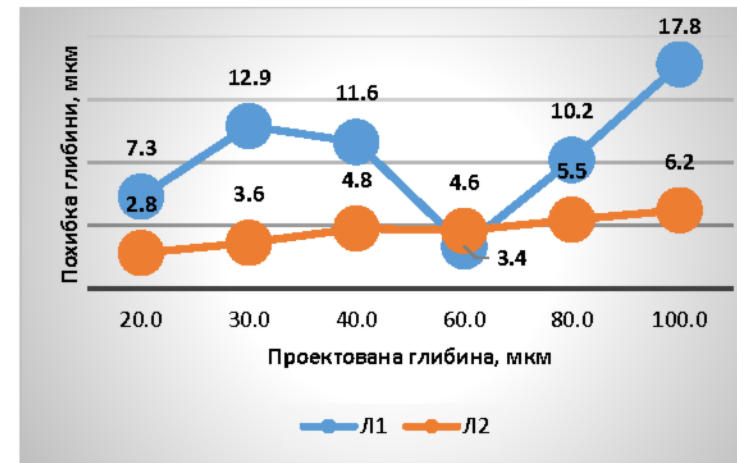
У формулі 4.1.  $k_{max\ loss}$  – найвищий ступінь пошкодження за ухваленою шкалою (в наших дослідженнях  $k_{max\ loss} = 4$ );  $k_{stroke\ loss}$  – оцінка стану штриха за ухваленою шкалою,  $k_{stroke\ loss} = \overline{0, k_{max\ loss}}$ .

На рис. 4.26–4.28 наведено результати оцінки стану поверхні ГШ безпосередньо після операції DLE обома лазерними системами та після хімічного очищення від напливів і сколів, що виникають внаслідок гравіювання як багатоступеневого проходження лазерним променем. З цих результатів досліджень видно, що для обох лазерних систем стан поверхні штрихів після хімічного очищення суттєво покращується.

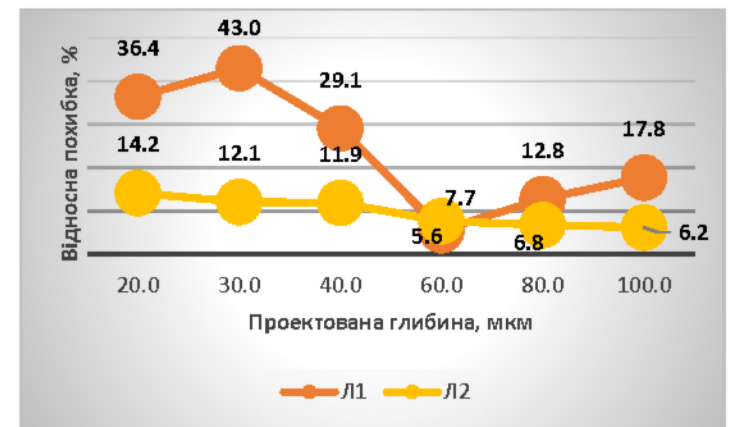
Видно суттєво кращий стан поверхні після обробки Л2, який за усіх глибин (рис. 4.26), режимів гравіювання (рис. 4.27) та профілів (рис. 4.28) є кращим без хімічного очищення, ніж для Л1 навіть після очищення. Хоча, звичайно, це не означає, що хімічне очищення поверхні в разі використання Л2 не є необхідним, оскільки очищує як ПЕ, так і стінки і дно ДЕ (рис. 4.29). Також чіткіше після очищення проявляються краї ГШ. Якість поверхні ГШ із застосуванням Л2 за різними параметрами порівняння є вищою на 20–60%.



а)



б)



в)

Рис. 4.22. Параметри глибини штрихів фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ для різних лазерних систем за різних глибин гравіювання (після DLE і очищення): а – середня фактична глибина; б – середня похибка, мкм; в – відносна похибка, %.

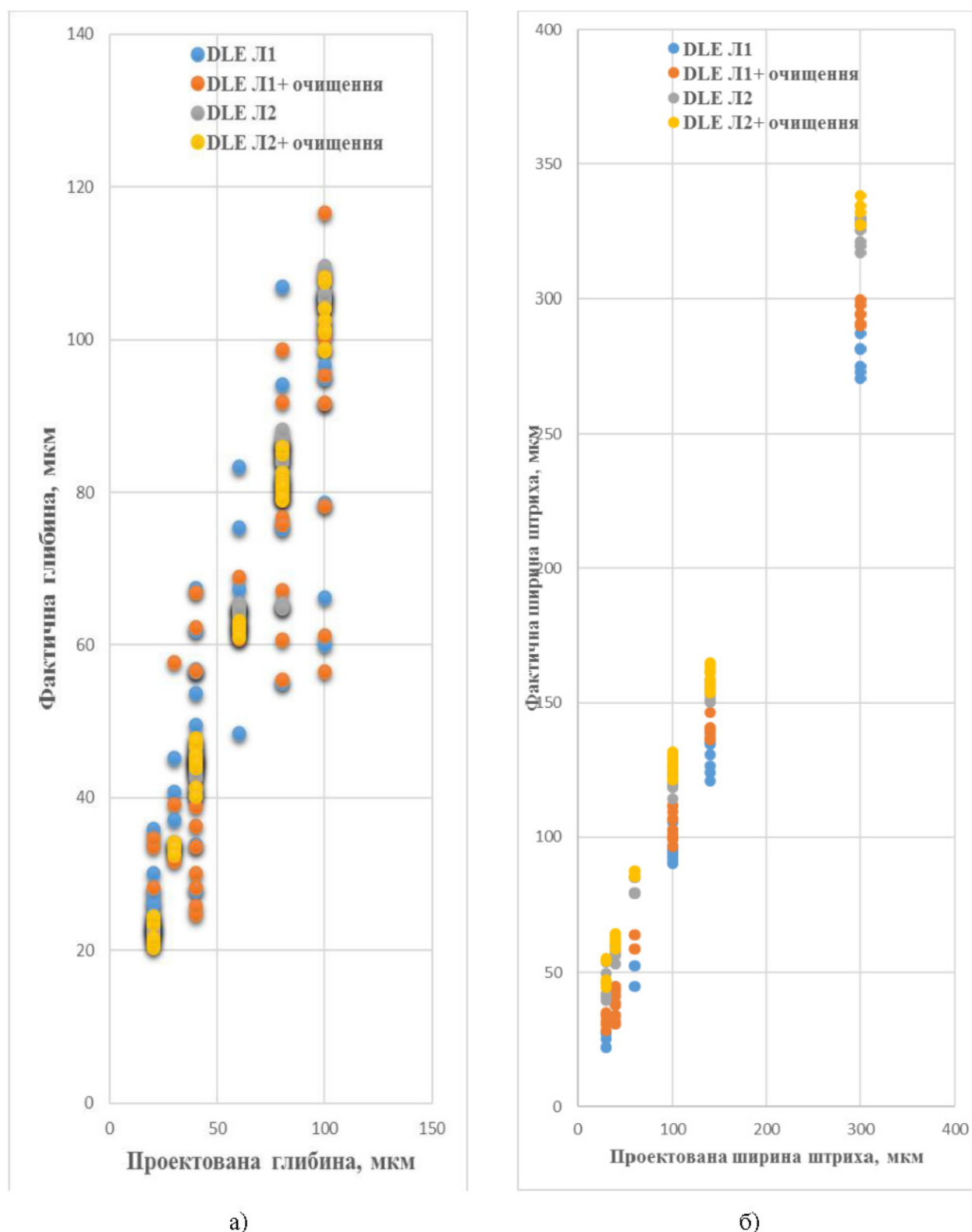
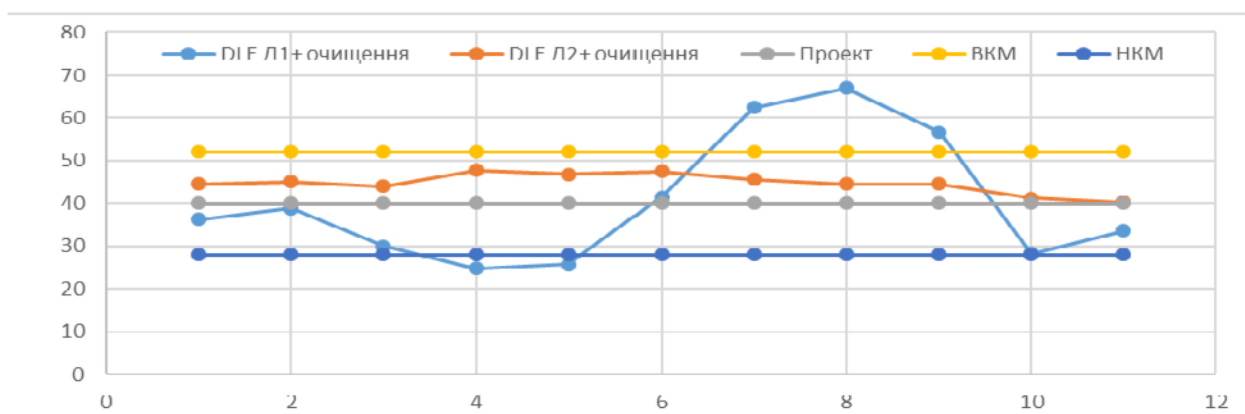
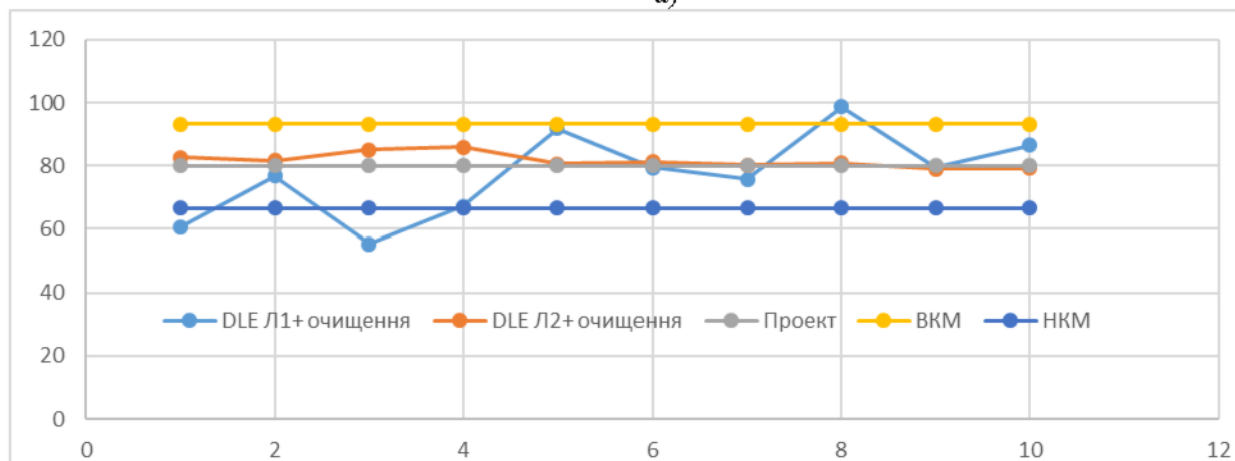


Рис. 4.23. Стабільність фактично отриманих глибини (а) і ширини (б) профілів гравійованих друкувальних елементів для різних проєктованих профілів гравіювання (після DLE та DLE і очищення).



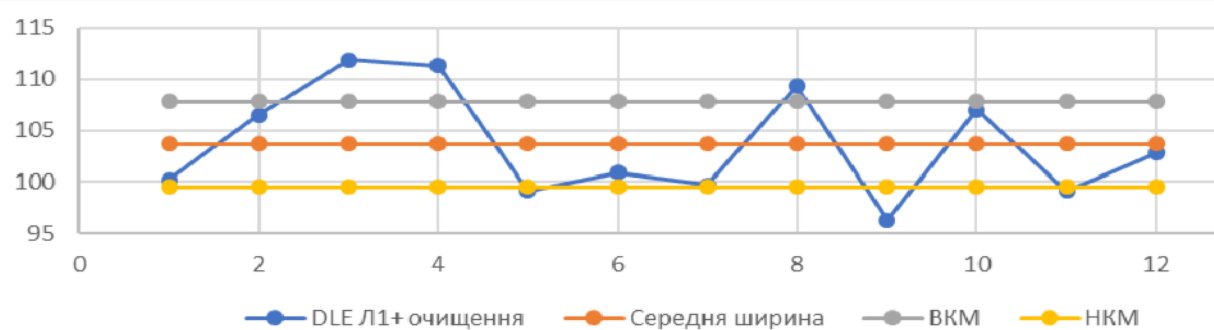


а)

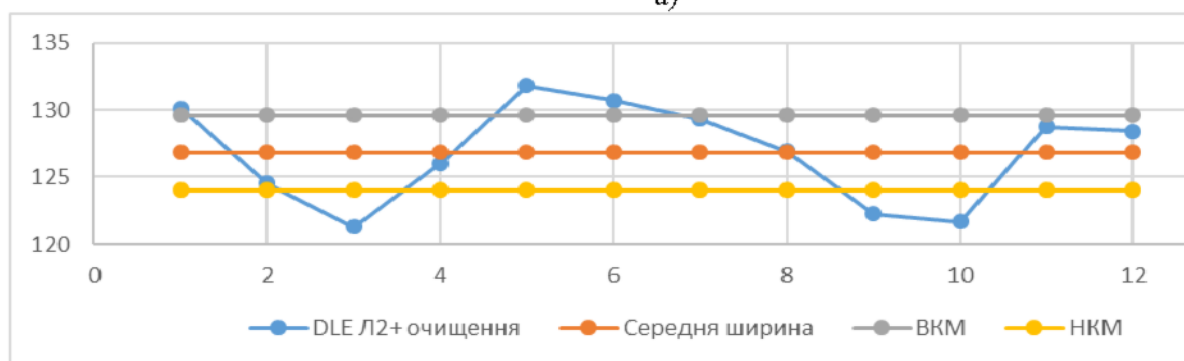


б)

Рис. 4.24. Контрольні  $\bar{X}$ -карти Шухарта для штрихів з глибиною гравіювання: а – 40 мкм; б – 80 мкм.



а)



б)

Рис. 4.25. Контрольні  $\bar{X}$ -карти Шухарта для штрихів з шириною гравіювання 100 мкм: а – Л1 з очищенням; б – Л2 з очищенням.

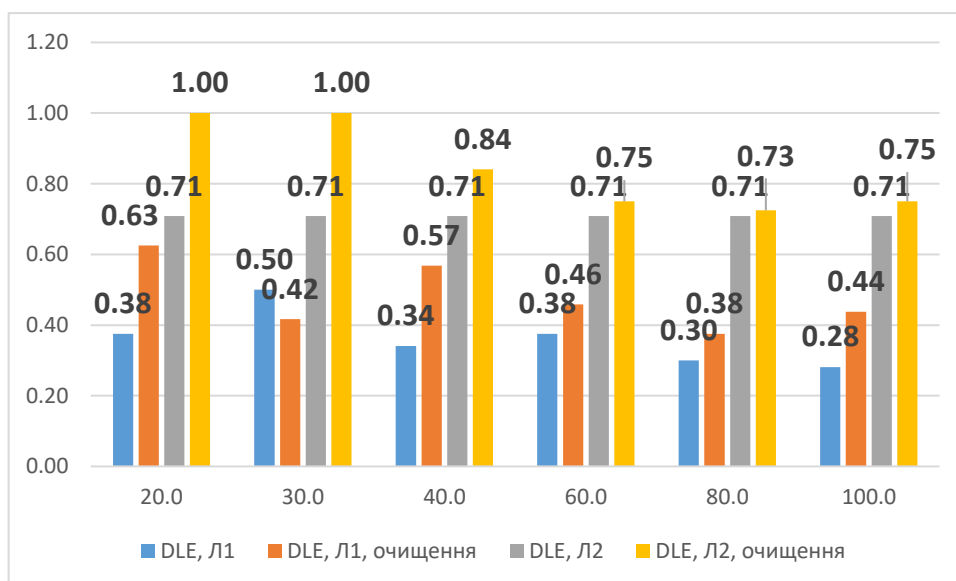


Рис. 4.26. Коефіцієнт якості стінок штриха фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ для різних лазерних систем за різних глибин гравіювання (після DLE та DLE і очищення).

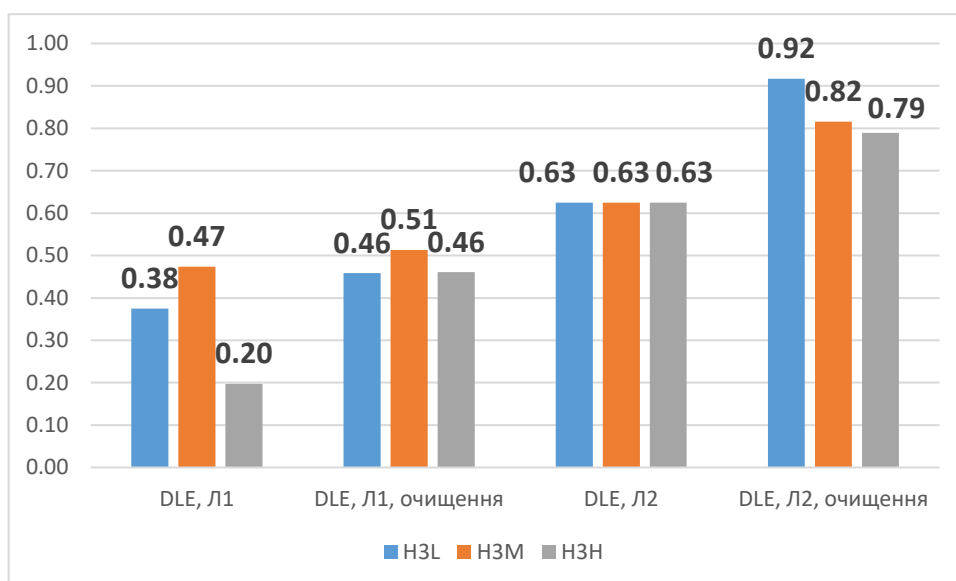


Рис. 4.27. Коефіцієнт якості стінок штриха фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ для різних лазерних систем за різних режимів гравіювання (після DLE та DLE і очищення).

#### 4.4. Дослідження якості захисного покриття PVD.

Дослідженнями встановлено, що на наявному обладнанні PLATECOAT [77], котре призначено для нанесення ЗП нітриду хрому на нікелеву, а не латунну формну пластину, не вдається отримати задовільну якість та адгезійну

стійкість ЗП ні при якому режимі гравіювання, лазерній системі та обробці після DLE (рис. 4.30).

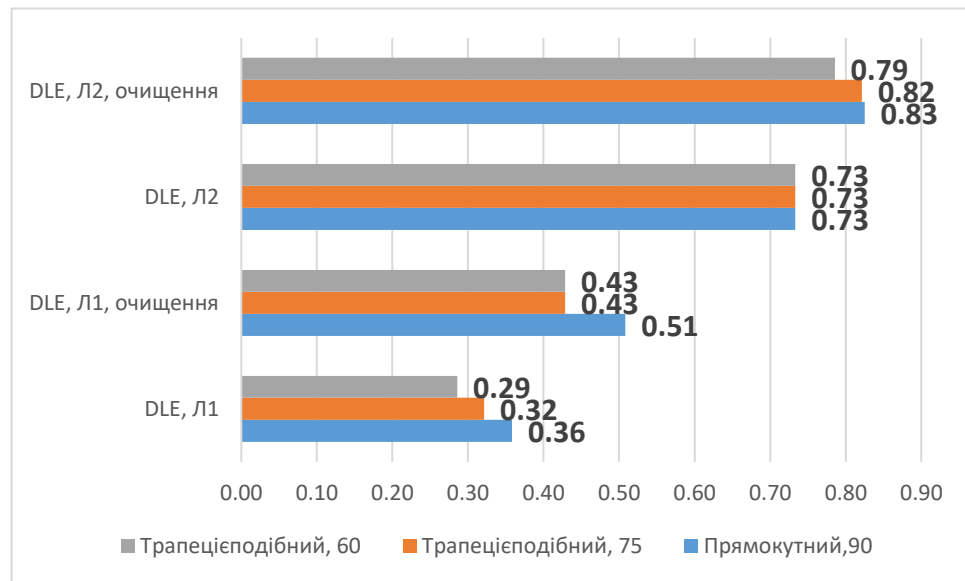


Рис. 4.28. Коефіцієнт якості стінок штриха фактично отриманих профілів гравійованих ДЕ для різних профілів гравіювання (після DLE та DLE і очищення).

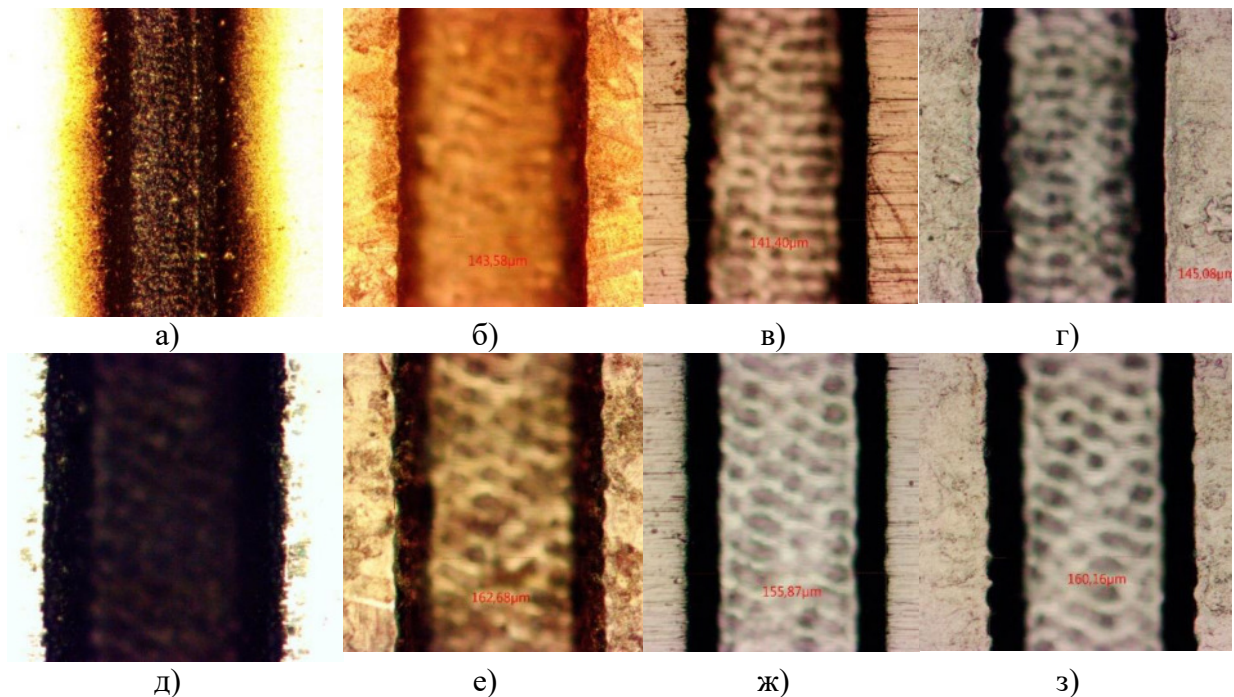


Рис. 4.29. Трансформація ПЕ та поверхні ГШ під час обробки: а-г – Л1; д-з – Л2; а, д – одразу після DLE; б, е - DLE і очищення; в, г, ж, з – після PVD з механічним очищенням та без нього. Штрих № 30. Збільшення  $\times 100$ .

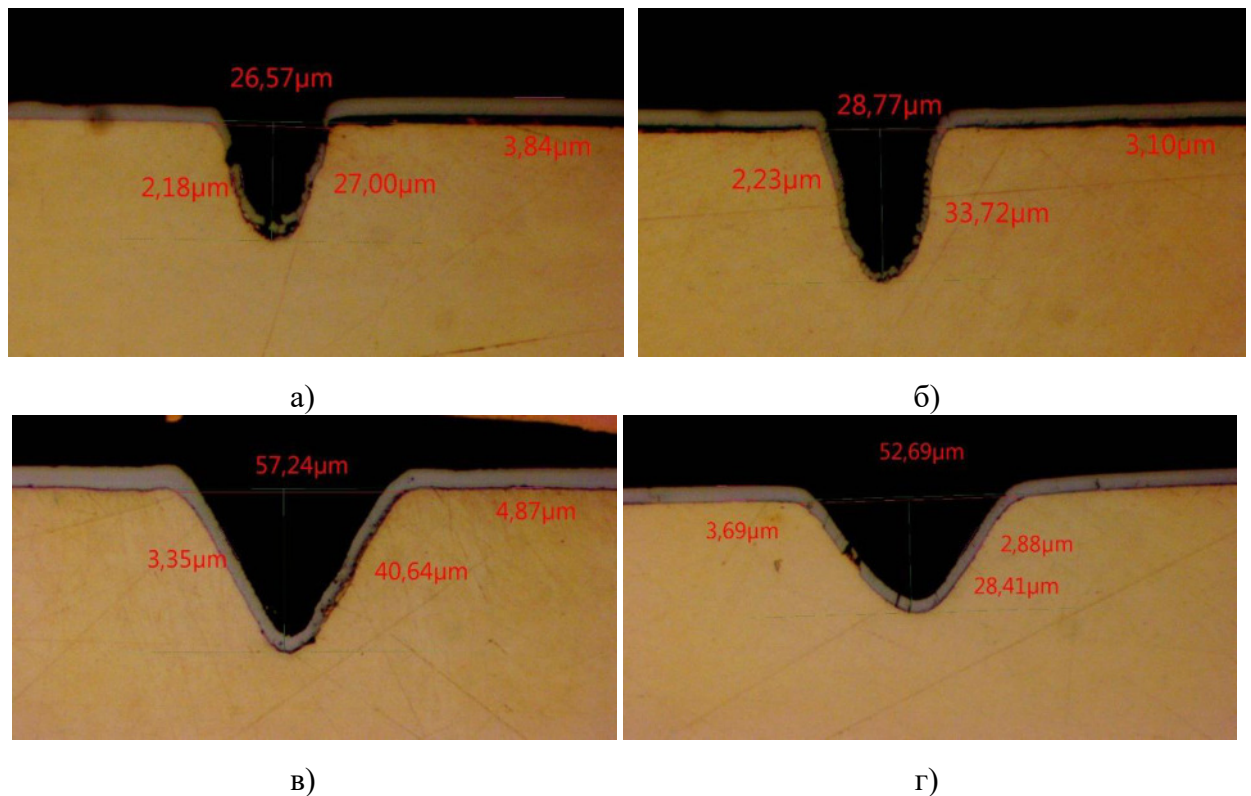


Рис. 4.30. Захисне покриття на ПЕ та ДЕ після PVD: а, б – Л1; в, г – Л2; а, г – без шліфування і полірування напливів ( зона 3 і 6, відповідно, рис. 2.3) ; б, в - з шліфуванням і поліруванням напливів ( зона 4 і 5, відповідно, рис. 2.3). Штрих № 24. Збільшення  $\times 400$ .

Основною причиною цього вбачається необхідність корегування режимів PVD, насамперед температури форми під час напилення, оскільки параметри МР для забезпечення адгезійної міцності пари нікель – нітрид хрому і латунь – нітрид хрому є різними.

Дослідження якості ЗП, дозволило підтвердити припущення про важливість забезпечення високої якості стінок ГШ на етапі DLE: адгезійний зв'язок є порушеним на ділянках, де спостерігаються сколи та відшарування стінок (рис. 4.31, а, б), а також знеміцнення поверхні (рис. 4.31, в).

Встановлено, що товщина ЗП на ПЕ становить 3,1-5,0 мкм, а друкувальних – 1,5–3,8 мкм. Для різних параметрів ГШ на різних етапах співвідношення товщини на різних ділянках становить 1,4–2,5 рази. Це свідчить про потребу подальшого відпрацювання параметрів процесу PVD.

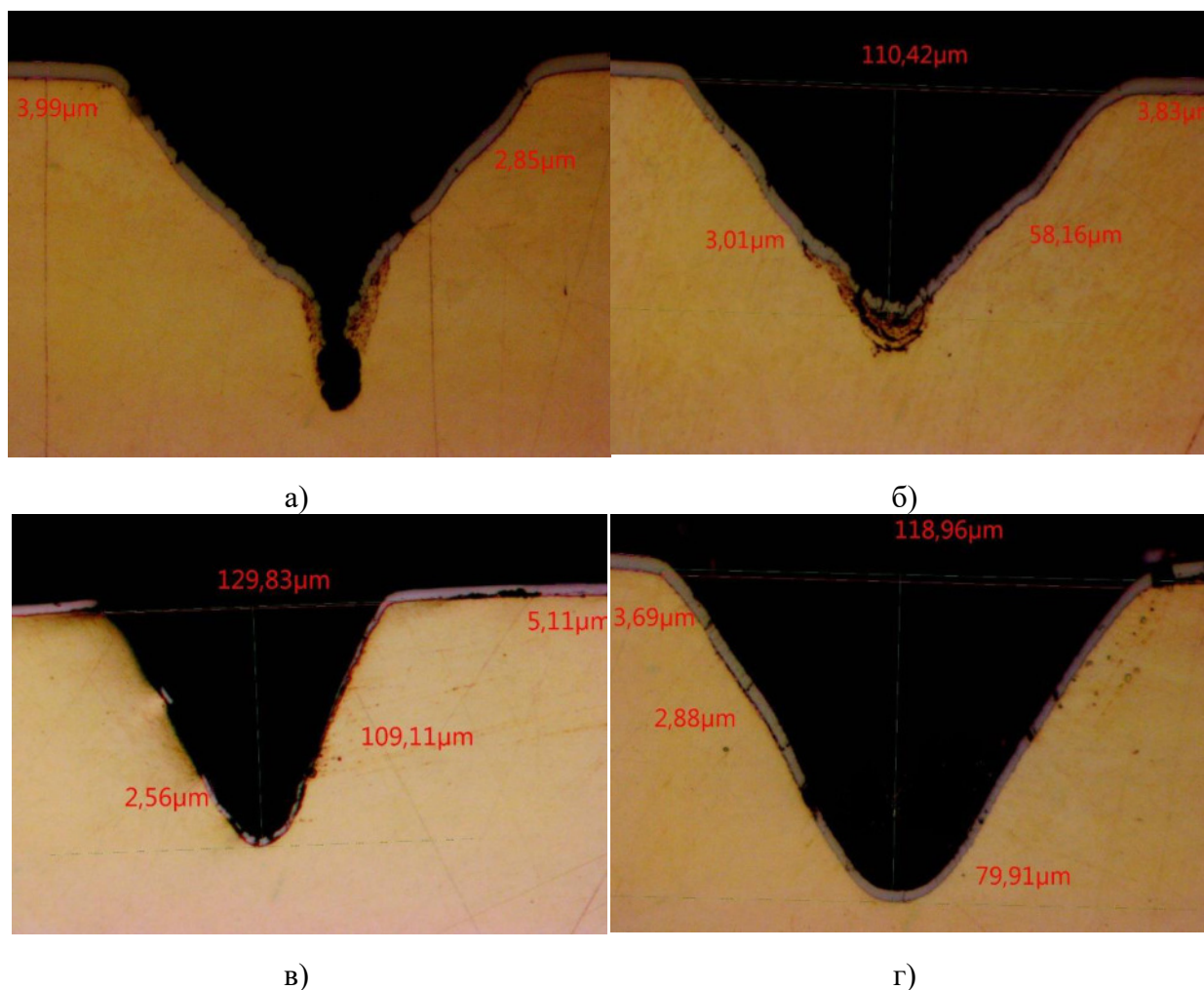


Рис. 4.31. Захисне покриття на пробільних елементах та друкувальних елементах після PVD: а, б – Л1; в, г – Л2; а, г – без шліфування і полірування напильників (зона 3 і 6, відповідно, рис. 2.3) ; б, в - з шліфуванням і поліруванням напильників (зона 4 і 5, відповідно, рис. 2.3). Штрих № 10. Збільшення а, б, г -  $\times 400$ ; в -  $\times 200$ .

#### 4. 5. Експериментальні результати іонно-плазмового оброблення пробільних елементів форм із застосуванням геліконного розряду

За допомогою МАІ встановлено важливість удосконалення процесу нанесення захисного PVD. Оскільки першим тривалим етапом процесу нанесення захисного PVD покриття в установці PLATECOAT [77] є іонно-плазмові травлення (очищення) протягом 1,5–2 год. форми позитивно зарядженими іонами аргону  $Ar^+$  з подачею аргону в камеру за робочого тиску в різних циклах  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  мбар (з кількарразовим відкачуванням робочої газової суміші до  $10^{-5}$ - $10^{-4}$  мбар), то удосконалення цього процесу є доцільним. Як напрямок такого удосконалення було запропоновано оброблення поверхні



гравійованих форм модифікованим джерелом плазми (підрозд. 2.5), що було реалізовано для пробільних елементів.

На рис. 4.32 наведено результати електронно-мікроскопічних досліджень етапів модифікування поверхні досліджуваних латунних зразків залежно від режимів оброблення плазмою [1, 9, 13].

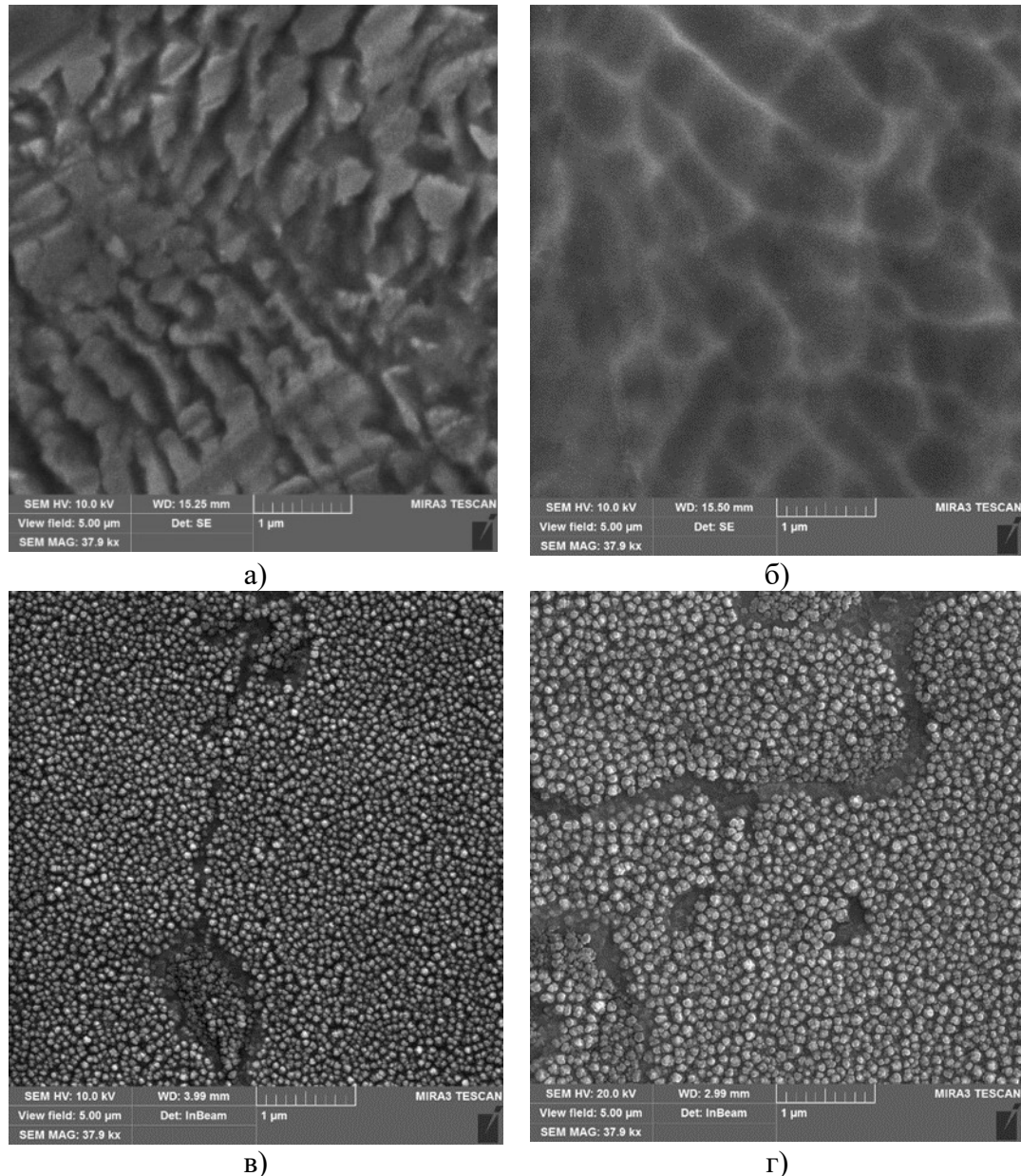


Рис. 4.32. Електронно-мікроскопічні дослідження етапів модифікування поверхні досліджуваних латунних зразків залежно від режимів оброблення плазмою: а – до оброблення; б -  $t = 10$  хв.,  $i_{\text{ст}} = 3,5$   $\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $U_{\text{cm}} = -100$  В,  $T_{\text{ф}} \sim 120^\circ\text{C}$ ; в -  $t = 30$  хв.,  $i_{\text{ст}} = 5,5$   $\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $U_{\text{cm}} = -100$  В,  $T_{\text{ф}} \sim 350^\circ\text{C}$ ; г -  $t = 45$  хв.,  $i_{\text{ст}} = 5,5$   $\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $U_{\text{cm}} = -100$  В,  $T_{\text{ф}} \sim 380^\circ\text{C}$ . Тут  $t$  – тривалість оброблення;  $i_{\text{ст}}$  – щільність струму;  $U_{\text{cm}}$  – напруга, що прикладається до зразка на столику;  $T_{\text{ф}}$  - температура підкладки [1, 9, 13].

На зразках до плазмової обробки (рис. 4.32 а) видно, що вихідний стан поверхні досліджуваної латуні Л63 до її завантаження у вакуумну камеру і оброблення поверхні геліконним розрядом має рельєф, що утворився при прокатуванні, з ознаками текстури у напрямку прокатки та неглибокими розривами приповерхневих шарів, які можуть бути наслідком холодної деформації останніх прокатних проходів за невеликих температур листа. Пронаявність слідів твердого мастила, що використовується при прокатці, свідчить про присутність на поверхні великої кількості вуглецю, а також кисню [1, 9, 13].

За різних режимів оброблення структура розпиленої поверхні – поверхні підкладок з латуні Л63 – змінюється залежно від повноти протікання процесів розпилення, релаксації структури і напружень [1, 9, 13]. Наприклад, після режиму оброблення (рис. 4.32.б) поверхня латуні Л63 внаслідок розпилення виступаючих елементів рельєфу вихідної поверхні, які через максимальну концентрацію плазми на піках розпилюються в першу чергу, набуває рельєфу з мінімальними нерівностями. Отже, обраний режим іонної обробки згладжує нерівності поверхні розпиленням виступаючих вершин. Такі перші результати показують, що для повного очищення поверхні від домішок було обрано недостатній час та енергія бомбардування, тому слід інтенсифікувати режим обробки [1, 9, 13].

Після інтенсивної обробки протягом 30 хв (рис. 4.32 в) вигляд поверхні суттєво змінився: поверхня набула фрагментованого на області вигляду з виокремленими місцями структур згрупованих елементів розміром 40-80 нм.

За умови збільшення часу обробки зразків від 30 до 45 хв суттєвих видимих якісних змін вигляду поверхні зразка не відбувається (рис. 4.32 г). Однак, чіткіше видно межі зерен на поверхні зразка, які все яскравіше виявляються зі збільшенням часу відпалу (температура зразка під час тривалішої обробки збільшується), і навіть збільшуються розміри виділених структурних елементів – фрагментованих острівців – на поверхні. Аналіз морфології поверхні після обробки протягом 45 хв (рис. 4.32 г) показує, що

збільшилися розміри фрагментованих острівців (70–90 нм) на поверхні. Виявляються контрастніше границі зерен. Такий чіткіший прояв міжзеренних границь і збільшення розмірів зерен-острівців відбувається через триваліший відпал матеріалу підкладок (45 хв нагрівання замість 30 хв). Відпал призводить до більш рівноважної структури окремих зерен та їх об'єднання – рекристалізації. При цьому необхідно відзначити, що промислова обробка латунної поверхні відбувається при температурі не вище 150 °С [77], а, як правило – до 80 °С. Тому процеси рекристалізації під час промислового іонно-плазмового травлення практично не відбуваються.

Отже, підвищення адгезійної міцності покриття внаслідок травлення латунної основи в плазмі, відзначене нами в дослідженнях [9], враховуючи уявлення усієї сукупності розвинутих наразі теорій адгезії (механічної (мікрореологічної), електронної, теорії приграничних шарів та міжфазної взаємодії, адсорбційної (термодинамічної), дифузійної, хімічного зв'язку, релаксаційної, слабких граничних шарів тощо [159]) може бути пояснене в рамках будь-якої з них, оскільки на поверхні формується розвинута, очищена від домішок впорядкована структура, природа якої потребує подальших досліджень, що виходять за межі наших завдань. Очевидно, що сформовані внаслідок іонно-плазмового оброблення в геліконному розряді синтезовані нанокристаліти можуть слугувати перехідним градієнтним шаром при нанесенні на латунь захисних покриттів, наприклад, CrN, з властивостями, які суттєво відрізняються за фізико-хімічними характеристиками від латуні, зменшуючи внутрішні напруження, що виникають як під час формування покриття, так і в процесі експлуатації, тобто кращою адгезійною стійкістю покриття [1, 9, 13].

Також можна припустити, що структури, які утворюються на поверхні латуні, можуть зменшувати тріщинуватість стінок ГШ, яка виникає на певних режимах лазерного гравіювання. Тому в перспективі варто дослідити та оптимізувати режими іонного травлення в геліконному розряді (тривалості, величини іонного струму на робочий столик, потужність, яка підводиться до



генератора ВЧ плазми, щільність струму, температура підкладки (як та, що є результатом обробки плазмою, так і примусовий нагрів), склад робочої газової суміші, можливого легування тощо) і уточнення механізмів формування наноструктур і їх взаємозв'язку, зокрема, з адгезійною міцністю покриттів, що наносяться після травлення на латунну підкладку. Також варто поширити ці дослідження на ГШ форм.

#### 4.6. Система технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку

##### 4.6.1. Формування узагальнених показників якості гравіюваних штрихів форм, виготовлених *DLE*.

Якість виготовлення ДФІ забезпечується дотриманням норм на усіх етапах виготовлення, в тому числі і на етапі *DLE*. Форма ГШ, яка отримується після етапу *DLE*, закладається на етапі проектування і розроблення електронного файлу даних для етапу *DLE*. Враховуючи увесь комплекс даних досліджень щодо відповідності профілю ГШ форми запроектованим, варто визначити узагальнені показники якості ГШ форм, виготовлених *DLE*, та враховувати їх під час проектування профілю штрихів, а також, обираючи вид профілю.

З урахуванням наведеного, графічна точність відбитка («ступінь наближення всіх елементів відбитка до оригіналу – формою, розмірами і розташуванням» [43]) забезпечується на усіх етапах – розроблення дизайну, виготовлення форми, а також усією сукупністю ТП друкування. Ланка дизайн штриха→гравіювання є надзвичайно важливою з погляду дотримання графічної точності відбитка, насамперед, його розміру, який на відбитку проявляється як ширина штриха. Тому під час проектування штриха необхідно вводити додатковий поправочний коефіцієнт забезпечення графічної точності відбитка  $k_b$ :

$$k_b = 1 - \left| \frac{\Delta b_{plate}}{b} \right| \quad (4.2)$$

де  $\Delta b_{plate}$  – відхилення ширини гравійованого профіля форми від запроектованого:  $\Delta b_{plate} = b_{DLE} - b$ ,  $b_{DLE}$  – фактична ширина гравійованого штриха, отримана за даними досліджень поперечного перетину штриха форми, чи за допомогою спеціалізованого обладнання для контролю якості гравіювання [160, 161],  $b$  – запроектована ширина штриха. Коефіцієнт забезпечення графічної точності відбитка  $k_b$  залежить від багатьох чинників, в тому числі, запроектованої форми штриха, потужності лазерного гравіювання, як видно з рис. 4.33. Найвищу графічну точність для дослідженого діапазону розмірів штрихів забезпечує запроектований прямокутним профіль, вигравіюваний на середньому за потужністю режимі лазерного гравіювання.

Як вже зазначалося в розд. 3, товщина фарбового шару безпосередньо пов'язана із об'ємом гравіюваних друкувальних елементів форми [93, 142]. Уся сукупність технологічних особливостей процесу друкування може спричинювати неповне вилучення фарби із друкувальних елементів форми, об'єм яких є не єдиним засобом корегування кількості перенесеної на папір фарби [10].

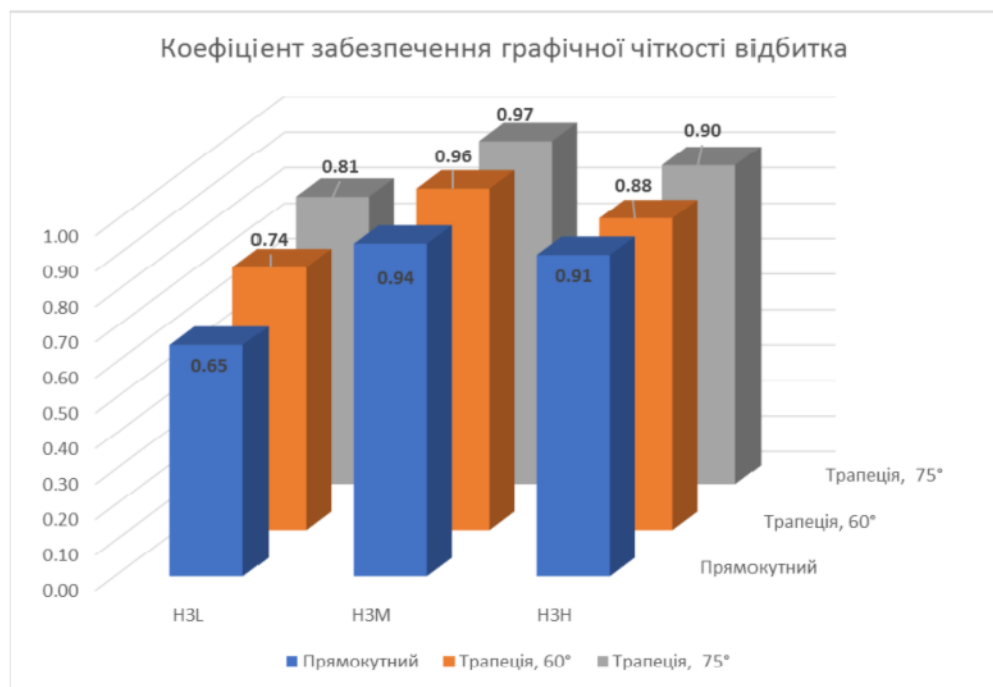


Рис. 4.33. Коефіцієнт забезпечення графічної точності відбитка для різної запроектованої форми штриха та потужності лазерного гравіювання.

Коефіцієнт фарбовіддачі – співвідношення об'єму фарби, вилученої із друкувальних елементів форми і закріпленої на відбитку, до загального об'єму фарби у друкувальних елементах, визначений в роботі [93] у припущенні, що запроектована форма гравійованого штриха і реально отримана форма гравійованого штриха суттєво не відрізняються, а цей коефіцієнт залежить від співвідношення основних розмірів гравійованих друкувальних елементів – відношення глибини гравіювання до ширини [94, 146]. Однак, враховуючи встановлене нами суттєве відхилення площі перетину штрихів, описане вище, видно, що відмінність площі перетину штрихів на відбитках, встановлене в роботах [94, 140], великою мірою є наслідком відмінної від запроектованої фарбоємності штрихів, яку можна визначити як коефіцієнт фарбоємності  $k_{ink}$ :

$$k_{ink} = \frac{S_{DLE}}{S} \quad (4.3)$$

де  $S_{DLE}$  – фактична площа перетину штриха, визначена за допомогою програмного забезпечення *DLEScript* [5], табл. 4.2;  $S$  – запроектована площа перетину штриха, визначена за запроектованими формою та розмірами штрихів (табл. 4.2). Цей коефіцієнт характеризує ступінь відповідності об'єму гравійованого штриха його запроектованому об'єму (рис. 4.34).

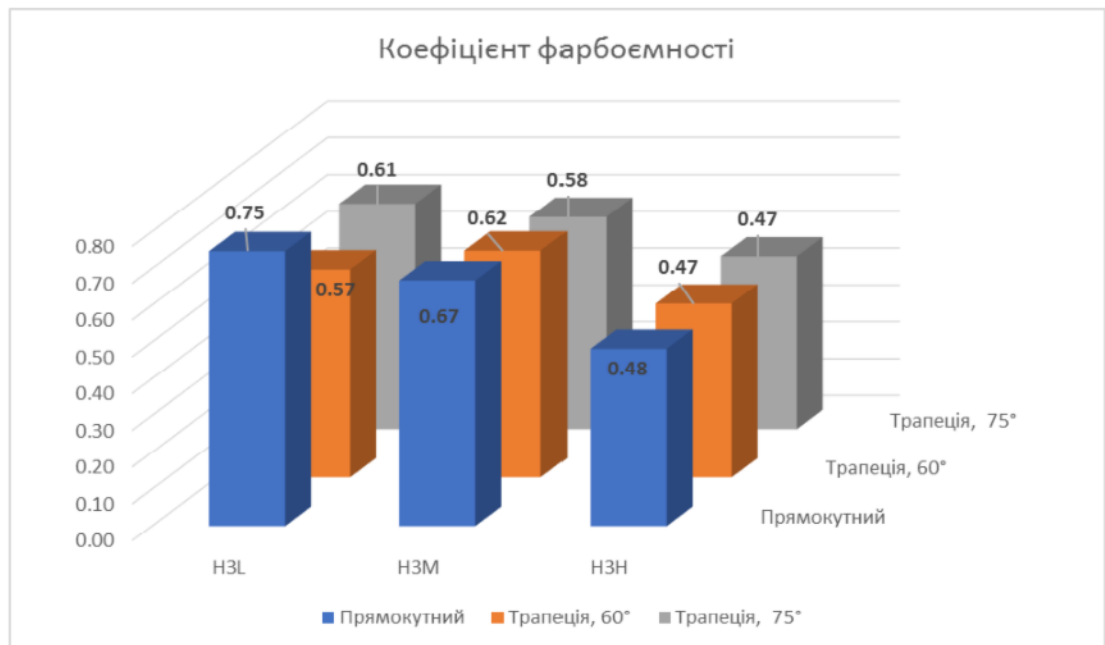


Рис. 4.34. Коефіцієнт фарбоємності штрихів для різної запроектованої форми штриха та потужності лазерного гравіювання.

Спостерігається кореляція між описаною в розд. 3 (рис.3.11) втратою висоти фарбового шару залежно від співвідношення глибини і висоти запроєктованого штриха. Коефіцієнт фарбоємності становить 0,47–0,75 і показує межу висоти фарбового рельєфу.

Цей показник є важливим для забезпечення як графічної точності («ступінь наближення всіх елементів відбитка до оригіналу – формою, розмірами і розташуванням» [43]), так і градаційної точності («правильне відтворення на відбитку півтонів оригіналу» [43]). Крім того, коефіцієнт фарбоємності є важливим на етапі приладжування друку [161, 162] під час налаштування тиску в ДК і кількості подачі фарби. З урахуванням отриманих значень фарбоємності ГШ для різних профілів гравіювання можливо знизити витрату матеріалів на етапі приладжування.

Якщо підвищення коефіцієнтів забезпечення графічної точності відбитка  $k_b$  і коефіцієнту фарбоємності  $k_{ink}$  дозволить удосконалити робочий потік інтагліодруку за існуючих можливостей обладнання, то забезпечення якості стінок штрихів як фактор підвищення тиражестійкості форм можливе або через корегування форми штрихів та потужності лазерного гравіювання, або заміною гравіювального обладнання. Коефіцієнт втрати якості стінок штриха  $k_{loss}$ , який характеризує стан поверхні штрихів визначимо так:

$$k_{loss} = 1 - \frac{k_{max\ loss} - k_{stroke\ loss}}{k_{max\ loss}} \quad (4.4)$$

де  $k_{max\ loss}$  – найвищий ступінь пошкодження за ухваленою шкалою (в наших дослідженнях  $k_{max\ loss} = 4$ );  $k_{stroke\ loss}$  – оцінка стану штриха за ухваленою шкалою,  $k_{stroke\ loss} = \overline{0, k_{max\ loss}}$ . Іншим, зворотнім варіантом, є використання коефіцієнту якості стінок штриха  $k_{surface}$  (4.1).

Застосування цього коефіцієнту (рис. 4.35) дозволяє на етапі проектування обрати профіль, який забезпечить необхідну якість стінок (видно, що, наприклад, прямокутний профіль на пониженій потужності гравіювання забезпечує належну якість стінок).

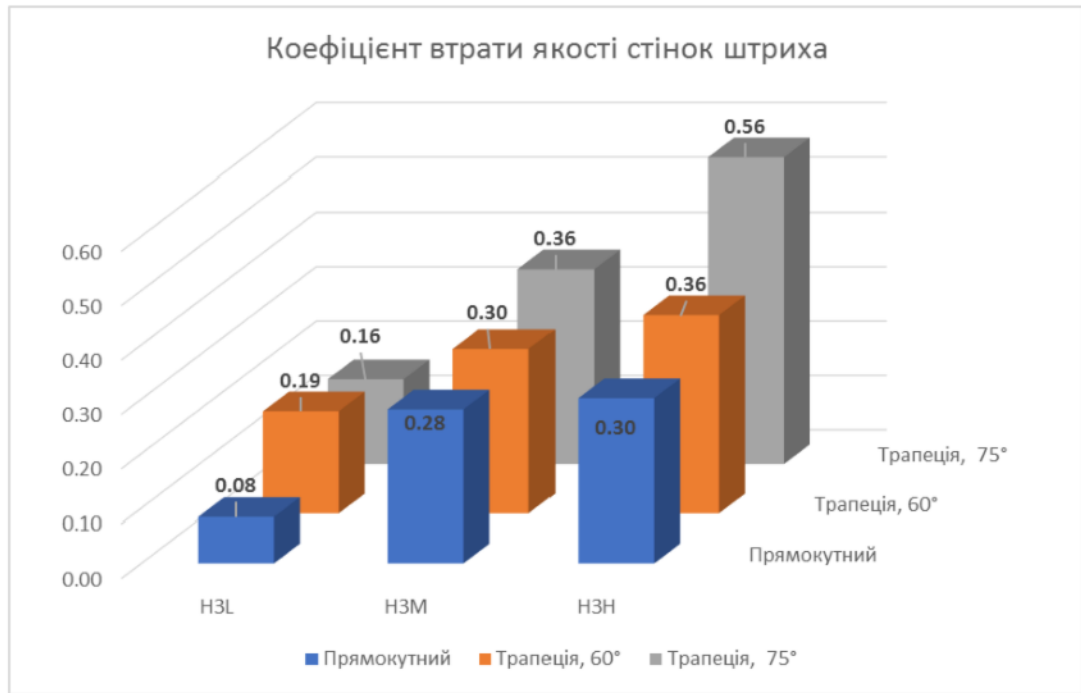


Рис. 4.35. Коефіцієнт втрати якості стінок ГШ для різної запроєктованої форми штриха та потужності лазерного гравіювання.

Коефіцієнт забезпечення графічної точності відбитка  $k_b$ , коефіцієнт фарбоємності  $k_{ink}$  та коефіцієнт втрати якості стінок штриха  $k_{loss}$  дозволяють корегувати окремі етапи робочого потоку ІД. Інтегральний коефіцієнт якості гравіювання  $k_{DLE}$ , який враховує ступінь відтворення усіх параметрів штриха і якість його поверхні (стінок і дна (для крупних штрихів)) виглядає так (з урахуванням, що перші три складники є стимуляторами, а останній – коефіцієнт втрати якості стінок штриха  $k_{loss}$  – дестимулятор [20]):

$$k_{DLE} = \omega_a \cdot \left(1 - \left|\frac{a_{DLE} - a}{a}\right|\right) + \omega_b \cdot \left(1 - \left|\frac{b_{DLE} - b}{b}\right|\right) + \omega_{ink} \cdot \frac{S_{DLE}}{S} + \omega_{loss} \cdot \left(\frac{k_{max loss} - k_{stroke loss}}{k_{max loss}}\right) \quad (4.5)$$

Тут  $a_{DLE}$  – фактична глибина ГШ, отримана за даними досліджень поперечного перетину штриха форми, чи за допомогою спеціалізованого обладнання для контролю якості гравіювання [161-163];  $a$  – запроєктована глибина штриха;  $\omega_a$ ,  $\omega_b$ ,  $\omega_{ink}$ ,  $\omega_{loss}$  – вагомість відтворення глибини, ширини, фарбоємності та відсутності пошкоджень стінок штриха,  $\omega_a + \omega_b + \omega_{ink} + \omega_{loss} = 1$ . В наших дослідженнях всі показники розглянуто як рівноважні.

Аналізуючи інтегральний коефіцієнт якості гравіювання (рис. 4.36), бачимо, що за сукупністю усіх показників якості гравіювання форм рекомендувати для використання можна, насамперед, трапецієподібний профіль з нахилом стінок під кутом  $75^\circ$  на низькій потужності гравіювання.

Удосконалення робочого потоку  $DLE$  має відбуватися з урахуванням отриманих даних щодо взаємозв'язку виду проєктованого профілю, потужності лазерного випромінювання під час гравіювання та максимізації інтегрального коефіцієнта якості гравіювання  $k_{DLE}$ : трапецієподібні профілі за інтегральною якістю переважають прямокутні; найнижча потужність гравіювання забезпечує найвищий інтегральний результат, але, з погляду ефективності виробництва, середня потужність обробки є доцільною (рис. 4.36).

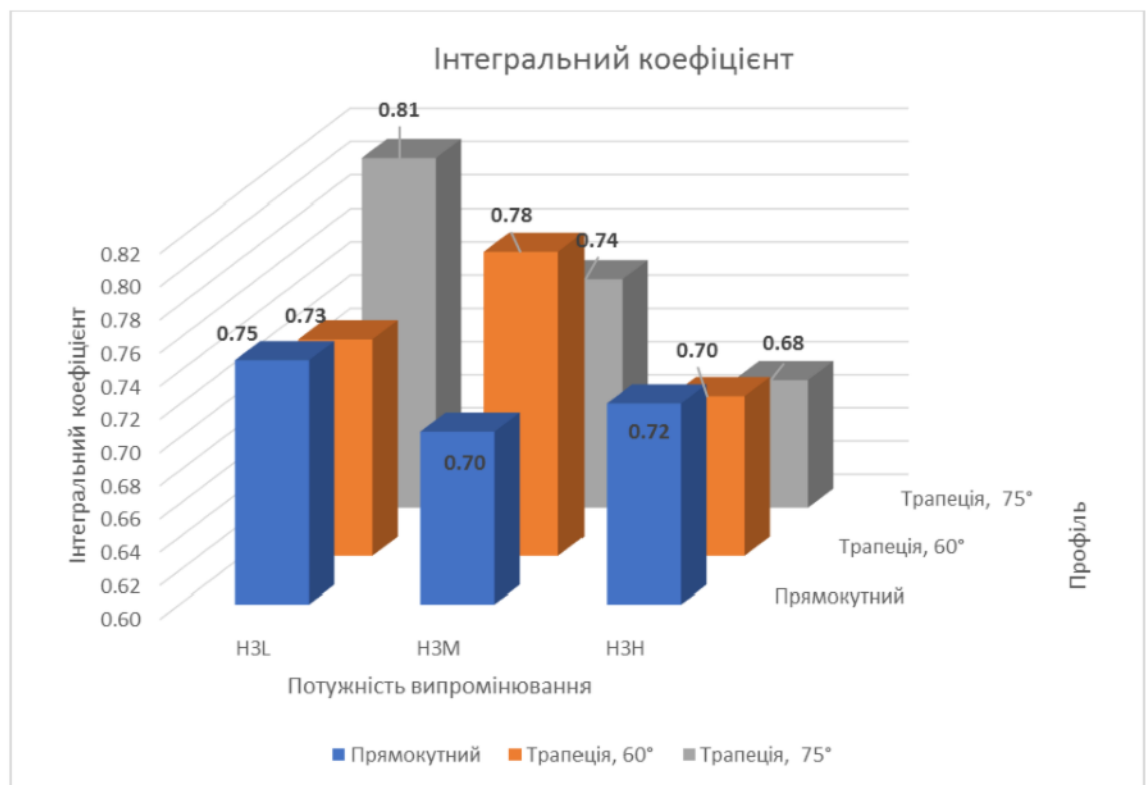


Рис. 4.36. Інтегральний коефіцієнт якості гравіювання для різної запроєктованої форми штриха та потужності лазерного гравіювання.

#### 4.6.2. Визначення комплексного показника якості форм $DLE+PVD$

Як вже було зауважено, якість виготовлення ДФІ забезпечується дотриманням норм на усіх етапах виготовлення, в тому числі і на етапі очищення після  $DLE$ , а також під час операції  $PVD$ , як це видно з розробленої системи технологічного забезпечення якості ДФІ (рис. 4.37). В цій системі використано результати аналітичних досліджень, наведених в розд. 1, де нами виокремлено три основні групи факторів, які впливають на тиражестійкість форм ІД [4, 14], які стали основою для розробленої системи формування тиражестійкості форм ІД [4] (рис. 1.5).

Відповідні параметри якості ГШ, які отримуються після етапу  $DLE$ , які є вихідними для  $DLE$ , і які в узагальненому вигляді можуть бути охарактеризовані інтегральним коефіцієнтом якості гравіювання  $k_{DLE}$ , є вхідними параметрами для етапу  $PVD$  (включно з проміжним етапом очищення після  $DLE$ ) – рис. 4.37.

Комплексний показник якості форм  $DLE+PVD$ , як видно, значною мірою формується на етапі  $DLE$ , оскільки залежить від дотримання параметрів гравіюваних штрихів з поправкою на товщину ЗП, що завжди враховується на етапі підготовки файла для гравіювання.

Тоді комплексний показник якості форм  $DLE+PVD$   $k_{DLE+PVD}$ , в припущенні, що товщина ЗП перебуває в межах, визначених виробником обладнання [77] – 2–4 мкм – та з урахуванням впливу концентраторів напружень на поверхні ГШ (тріщини, сколів і відшарування ГШ, тобто стану гравіюваної поверхні, рівняння (3.5)), маємо:

$$k_{DLE+PVD} = \omega_a \cdot \left(1 - \left| \frac{a_{DLE+PVD} - a}{a} \right| \right) + \\ + \omega_b \cdot \left(1 - \left| \frac{b_{DLE+PVD} - (b+2h)}{b+2h} \right| \right) + \omega_{ink} \cdot \frac{S_{DLE+PVD}}{S} + \omega_{\sigma} \cdot F(K_{\sigma}) \quad (4.6)$$

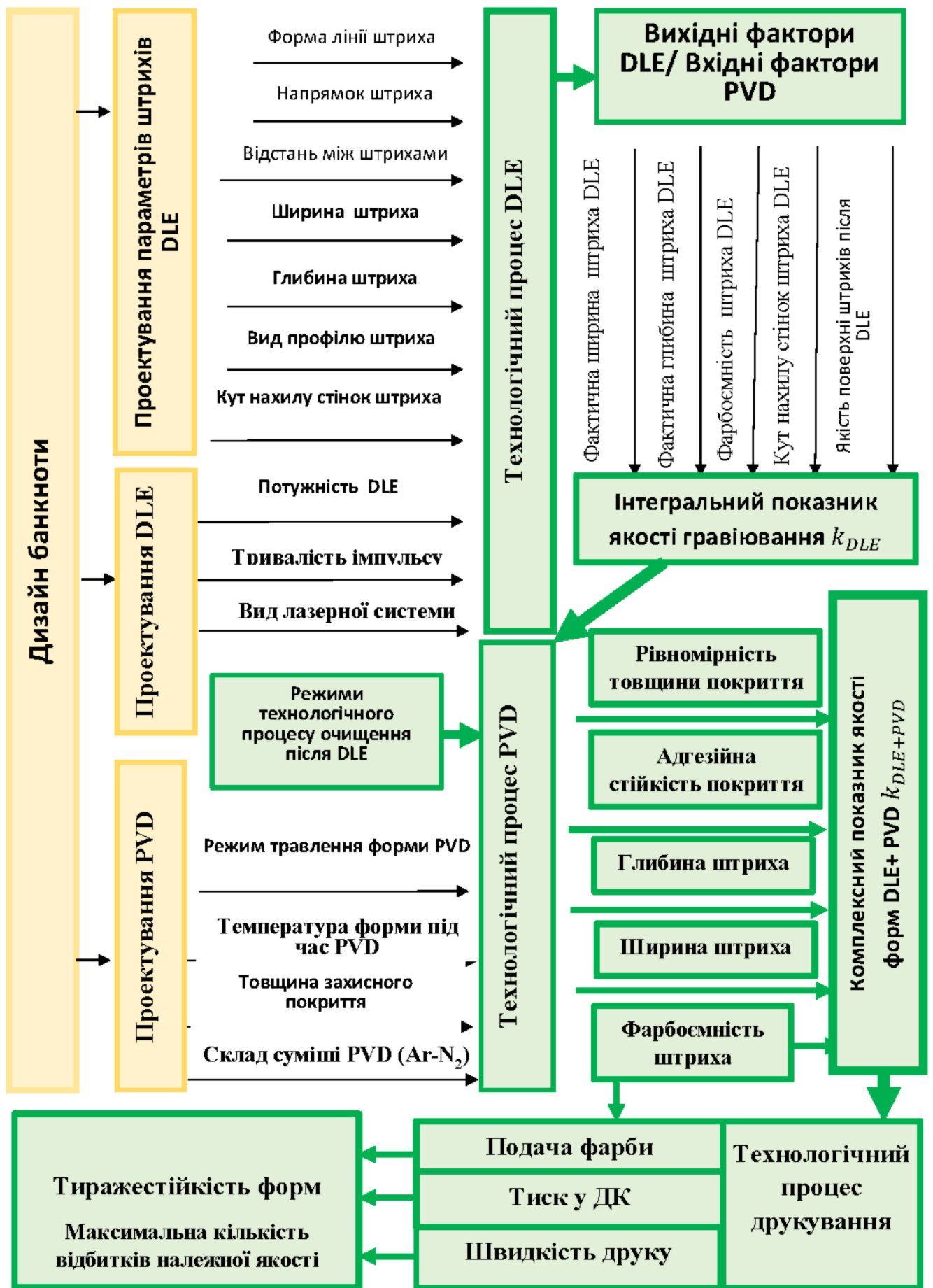


Рис. 4.37. Система технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку.



Тут  $a_{DLE+PVD}$ ,  $b_{DLE+PVD}$ ,  $S_{DLE+PVD}$  – фактична глибина, ширина і площа перетину ГШ, відповідно, отримана за даними досліджень поперечного перетину ГШ, чи за допомогою спеціалізованого обладнання для контролю якості гравіювання [181-163];  $a$ ,  $b$ ,  $S$ ,  $h$  – запроектовані глибина, ширина, площа перетину ГШ, відповідно, та запроектована товщина ЗП;  $\omega_a$ ,  $\omega_b$ ,  $\omega_{ink}$ ,  $\omega_{loss}$  – вагомість відтворення глибини, ширини, фарбоємності та відсутності пошкоджень стінок штриха,  $\omega_a + \omega_b + \omega_{ink} + \omega_{loss} = 1$ .

Розроблена система ТЗ якості форм ІД формує робочий потік ІД, встановлюючи можливі етапи корегування якості форми через цілеспрямований вплив на якість ГШ після DLE з урахуванням розроблених інтегрального коефіцієнта якості гравіювання, комплексного показника якості форм DLE+PVD. З урахуванням інтегрованої феноменологічної моделі формування зношеності ДФІ (розд. 3) видно, що тиражестійкість форм забезпечується не лише якістю їх виготовлення, але й балансом подачі фарби, швидкості друкування та тиску у друкарському контакті.

## Висновки до розділу 4

1. На основі проведеного аналізу за методом МАІ з використанням кластеризації показано, що для досягнення глобальної мети – якісної форми ІД – обирати варіант ТП виготовлення ДФІ необхідно з урахуванням вагомості усіх дій акторів (пріоритетних напрямків досліджень, удосконалення обладнання DLE та PVD, державної політики оновлення спеціалізованого обладнання), а також заходів в межах дизайну форм: корегування режимів DLE – 0,481 (потужність випромінювання (0,056), вид обладнання, що відрізняється тривалістю імпульсу (0,425); корегування параметрів штрихів, незалежних від заданих дизайном – 0,176 (вид профілю (0,026), симетричність профілю (0,008), кут нахилу стінок штриха (0,038), глибина (0,058), співвідношення глибини і ширини (0,045)); корегування режимів оброблення після DLE – 0,064 (хімічного очищення (0,032), чи хімічного і механічного очищення (0,032)); корегування режимів попереднього оброблення PVD – 0,199 (тривалість (0,037), інтенсивність (0,014) та вид іонно-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття (0,148)); корегування режимів PVD – 0,080 (товщина захисного покриття (0,041), відсотковий склад газової суміші Ar-N<sub>2</sub> в камері напилення (0,012), склад (легування) хромової мішені (0,006), температура підкладки (форми) під час PVD (0,020)). Ці дані стали основою для вибору альтернативних варіантів ТП виготовлення форм ІД для досліджень.

2. Дослідження методом оптичної металографії шліфів ГШ тридцяти видів, що відрізнялися запроєктованим профілем (глибиною (20–100 мкм), шириною (30–100 мкм), кутом нахилу стінок штриха (60°–90°)) та потужністю гравіювання, утворених методом DLE на латунній пластині, показало, що всі ГШ мають суттєві відхилення від заданого геометричного профіля і зазвичай є несиметричними. Встановлено, що, незважаючи на суттєві відмінності профіля, що був отриманий гравіюванням, і запроєктованого, переважна більшість режимів виготовлення і профілів забезпечує достатньо високу

відповідність ширини штриха (80–130 %) запроектованому. Тактильність відбитків також забезпечується, хоча глибина штриха змінюється від 60 % від запроектованого до майже 200 %. Через суттєве відхилення профілю від запроектованого площа перетину штрихів перебуває в межах 40–90 % від запроектованого. Найкращі геометричні параметри мають запроектовані прямокутними штрихи невеликого розміру. З погляду відтворення геометричної форми штрихів кращі параметри мають трапецієподібні профілі. З погляду якості поверхні штрихів - прямокутні профілі.

3. Зниження потужності випромінювання дозволяє як забезпечити кращу якість відтворення геометричних параметрів штриха, так і забезпечити кращу якість поверхні штриха. Останнє є особливо важливим фактором забезпечення належного рівня адгезії ЗП до латунної основи, тобто в подальшому – вищої тиражестійкості. Таким чином, стан поверхні штрихів є ще одним додатковим фактором забезпечення зносостійкості форм DLE+PVD. Забезпечення якості стінок штрихів як фактор підвищення тиражестійкості форм можливе або через корегування форми штрихів та потужності лазерного гравіювання, або заміною гравіювального обладнання.

4. Результати експериментальних досліджень з модифікування етапу іонн-плазмової обробки поверхні зразків латуні Л63 в межах ПЕ модельних форм в плазмовому потоці геліконного розряду в аргоні показало, що таке модифікування першого етапу процесу PVD може підвищити адгезійну міцність ЗП, оскільки синтезовані нанокристаліти можуть слугувати перехідним градієнтним шаром при нанесенні на оброблену в геліконному розряді латунь ЗП.

5. Дослідження форми ГШ дозволяє зробити висновок, що, незважаючи на проектування форми штрихів прямокутною, жоден з профілів не є прямокутним: визначені, відповідно до розробленої методики, кути нахилу стінок штрихів – 53–65°, що необхідно враховувати на етапі приладжування. Виявлено: найдрібніші штрихи (шириною до 40 мкм, глибиною до 40 мкм) після DLE, незалежно від виду системи лазерного гравіювання, завжди мають

трикутний профіль; альтернативна система лазерного гравіювання Л2 дозволяє отримати трапецієподібні штрихи стабільної форми і розмірів для середніх та крупних штрихів. Л2 на середній потужності оброблення забезпечує більшу стабільність форми.

6. Якість поверхні штрихів із застосуванням Л2 за різними параметрами порівняння є вищою на 20–60% за коефіцієнтом якості стінок штриха  $k_{surface}$ , що дозволить отримати вищу адгезійну стійкість ЗП.

7. Одержані експериментальні результати взаємозв'язку профілів ГШ форм та проєктованих профілів і режимів гравіювання вперше дозволило встановити, що основним чинником формування краплеподібного профілю фарбового рельєфу ІД є саме трапецієподібна або трикутна, залежно від розмірів, форма ГШ, а кут нахилу сторін фарбового рельєфу відрізняється від фактичної форми на  $5\text{--}7^\circ$  (тобто 10–15%). Таким чином, удосконалено феноменологічну модель формування фарбового шару ІД.

8. Удосконалення робочого потоку DLE має відбуватися з урахуванням отриманих даних щодо взаємозв'язку виду проєктованого профілю, потужності лазерного випромінювання під час гравіювання та максимізації інтегрального коефіцієнта якості гравіювання  $k_{DLE}$ : трапецієподібні профілі за інтегральною якістю переважають прямокутні; найнижча потужність гравіювання забезпечує найвищий інтегральний результат, але, з погляду ефективності виробництва, середня потужність обробки є доцільнішою.

9. Розроблена система технологічного забезпечення якості ДФІ формує робочий потік ІД, встановлюючи можливі етапи корегування якості форми через цілеспрямований вплив на якість ГШ після DLE з урахуванням розроблених інтегрального коефіцієнта якості гравіювання, комплексного показника якості форм DLE+PVD  $k_{DLE+PVD}$ . З урахуванням інтегрованої феноменологічної моделі формування зношеності ДФІ показано, що тиражестійкість форм забезпечується не лише якістю їх виготовлення, але й балансом подачі фарби, швидкості друкування та тиску у ДК.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі аналітичних, теоретичних та експериментальних досліджень було визначено методи та засоби удосконалення технології виготовлення форм інтагліодруку та отримано такі результати:

1. Удосконалення технології виготовлення форм інтагліодруку обумовлене як потребою забезпечити високу якість друку і ефективності виробництва, так задля підвищення екоефективності банкнотного виробництва. Нами на основі ранжування потенційних екологічних ризиків вперше доведено, що впровадження найсучаснішого технологічного процесу DLE+ PVD дозволить знизити в 80-170 разів екологічні ризики порівняно з тиражними варіантами виготовлення форм.

2. Розроблений загальний алгоритм проведення досліджень щодо підвищення якості форм інтагліодруку, обґрунтовано обрані матеріали, обладнання та стандартні і розроблені методики дозволили провести весь комплекс експериментальних та теоретичних досліджень.

3. Дослідження процесів та впливів, яких зазнає форма у друкарській секції інтагліодруку, стало підґрунтям для розробленої вперше інтегральної феноменологічної моделі формування зношеності форми інтагліодруку, яка на основі дослідження механічних силових та трибологічних процесів, теплових, хімічних та електромагнітних впливів і значущості діючих факторів для друкувальних та пробільних елементів дозволила встановити механізми зношення в друкарській системі інтагліодруку, причини порушення адгезійної стійкості захисного покриття та засоби підвищення якості форм.

4. У ДК основним видом зношення є втомне, що виникає через знакопостійне віднульове циклічне навантаження і є основною причиною утворення мікротріщин в друкувальних елементах. Усі види впливу в ДК обумовлюють інші види зношення – механохімічне, яке формує знос форми інтагліодруку як основний чи додатковий процес протягом усього циклу обертання формного циліндру, в тому числі фретинг-корозійне,

електроерозійне та абразивне. Все це є механізмом поступового розвитку мікротріщин та руйнування зносостійкого покриття.

5. Зменшення кількості дефектів - концентраторів напружень на поверхні гравійованих штрихів (тріщин, сколів, відшарування) є дієвим способом зменшення втомного руйнування захисного покриття і, в підсумку, підвищення якості латунних форм, одержаних методом DLE+PVD. Цього можливо досягнути корегуванням геометричних параметрів профілю та режимів гравіювання штрихів.

6. Дослідження показало, що стан поверхні, структура та властивості поверхневих шарів латунної основи в зоні друкарських елементів, гравійованих DLE є вирішальним фактором для якісного нанесення PVD-покриття та, в підсумку, належної тиражестійкості, що може бути забезпечене режимами та умовами лазерної обробки, які дозволять одержати рівномірний профіль поверхні друкарських елементів і мінімальний вплив лазерного випромінювання на морфологію, структуру та властивості поверхневих шарів латунної основи.

7. Дослідження показали, що форма, виготовлена за методом DLE+PVD, дозволяє отримувати відбитки належної якості за умови дотримання співвідношення геометричних параметрів гравійованих штрихів: найкращі показники якості фарбового шару досягнуто у гравійованих елементів із співвідношенням глибини до ширини 0,3–0,5.

8. Удосконалення робочого потоку DLE має відбуватися з урахуванням отриманих даних щодо взаємозв'язку виду проектного профілю, потужності лазерного випромінювання під час гравіювання та максимізації інтегрального коефіцієнта якості гравіювання  $k_{DLE}$ : трапецієподібні профілі за інтегральною якістю переважають прямокутні; найнижча потужність гравіювання забезпечує найвищий інтегральний результат, але, з погляду ефективності виробництва, середня потужність обробки є доцільнішою.

9. Результати експериментальних досліджень з іонно-плазмової обробки поверхні зразків латуні Л63 в межах пробільних елементів в плазмовому

потоці геліконного розряду в аргоні показало, що таке оброблення сприяє формуванню розвинутої, очищеної від домішок поверхні латуні з впорядкованими високо орієнтованими 3D наноструктурами, властивості яких суттєво залежать від режимів оброблення. Таке модифікування першого етапу процесу PVD може підвищити адгезійну міцність захисного покриття, оскільки синтезовані нанокристаліти можуть слугувати перехідним градієнтним шаром при нанесенні на оброблену в геліконному розряді латунь захисних покриттів.

10. На основі аналізу усього комплексу отриманих експериментальних даних щодо різних аспектів формування параметрів якості форм інтагліодруку, що виготовляються за методом DLE+PVD, з використанням МАІ вперше визначено засоби забезпечення якості форм та пріоритетні напрямки подальших досліджень, удосконалення обладнання DLE та PVD, заходи щодо удосконалення дизайну форм, а також формування державної політики оновлення спеціалізованого устаткування. Встановлено із застосуванням кластеризації вагомість усіх факторів та підфакторів, найвагомішим з яких є вид обладнання DLE, що відрізняється тривалістю імпульсу (0,425); корегування параметрів штрихів, незалежних від заданих дизайном (0,176); корегування режимів попереднього оброблення PVD (0,199).

11. Експериментальні дослідження альтернативних систем DLE підтвердив дієвість визначених засобів забезпечення якості форм: якість поверхні штрихів із застосуванням експериментальної системи Л2 за різними параметрами порівняння є вищою на 20–60% за коефіцієнтом якості стінок штриха  $k_{surface}$ , що дозволить отримати вищу адгезійну стійкість захисного покриття; ця система дозволяє забезпечити більшу, ніж тиражна система, стабільність форми і розмірів штрихів.

12. Одержані вперше експериментальні результати взаємозв'язку профілів гравійованих елементів форм та проєктованих профілів і режимів гравіювання дозволили встановити, що основним чинником формування

краплеподібного профілю фарбового рельєфу інтагліодруку є саме трапецієподібна або трикутна, залежно від розмірів, форма гравійованих штрихів, які, незалежно від проектованого профілю, завжди мають фактичний кут нахилу стінок  $60 \pm 10^\circ$ , а кут нахилу сторін фарбового рельєфу відрізняється від фактичної форми на  $5\text{--}7^\circ$  (тобто  $10\text{--}15\%$ ). Таким чином, удосконалено феноменологічну модель формування фарбового шару інтагліодруку.

13. Розроблена система технологічного забезпечення якості форм інтагліодруку формує робочий потік інтагліодруку, встановлюючи можливі етапи корегування якості форми через цілеспрямований вплив на якість гравійованих штрихів після DLE з урахуванням інтегрального коефіцієнта якості гравіювання, комплексного показника якості форм DLE+PVD. З урахуванням інтегрованої феноменологічної моделі формування зношеності форми інтагліодруку показано, що тиражестійкість форм забезпечується не лише якістю їх виготовлення, але й балансом подачі фарби, швидкості друкування та тиску у друкарському контакті.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Руденко ЕМ, Свавільний МЄ, Киричок ТЮ, Панарін ВЄ, **Баглай ВА**, Олійник ВГ, Дякін МВ. Модифікування структури поверхні латуні Л63 після оброблення йонним розпорошенням у геліконному розряді. Металофізика та новітні технології. 2023;45(2):183–197. DOI: 10.15407/mfint.45.02.0183.
2. Киричок ТЮ, Герук ЯВ, **Баглай ВА**. Система формування якості друкованої сувенірної продукції банкотно-монетних дворів світу. Технологія і техніка друкарства. 2018;1:4–10. DOI: 10.20535/2077-7264.1(59).2018.137811.
3. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Талімонов ЯЮ. Дослідження явища перебивання фарби на папері спеціального призначення, виготовленого за різними технологіями. Технологія і техніка друкарства. 2019;1(63):19–27. DOI: 10.20535/2077-7264.1(63).2019.180649.
4. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Система формування тиражостійкості форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2019;3(65):15–24. DOI: 10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565.
5. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА, Регіда ПГ. Методика автоматизованого оцінювання якості технологічної операції прямого лазерного гравіювання форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2019;4(66):31–41. DOI: 10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868.
6. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА. Вплив технологічних параметрів на властивості друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;3(69):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568.
7. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, Безпалий АА. Дослідження якості поверхні друкувальних елементів форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;4(70):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.4(70).2020.229630.
8. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Горова ТВ, Сокол ОП, Комарницька АО,

Сичик ЮВ. Аналіз відповідності фахових видань, що входять до наукометричних баз даних, предметній області спеціальності 186 Видавництво та поліграфія. Технологія і техніка друкарства. 2021;1(71):4–26. DOI: 10.20535/2077-7264.1(71).2021.239073.

9. Киричок ТЮ, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, **Баглай ВА**, Руденко ЕМ, Талімонов ЯЮ, Новицька АЄ. Вплив технологічних режимів обробки латунної основи на якість форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2021;2(72):13–19. DOI: 10.20535/2077-7264.2(72).2021.123609.

10. Киричок ТЮ, Коротенко ОВ, **Баглай ВА**. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну точність відбитків. Технологія і техніка друкарства. 2021;4(74):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285.

11. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Визначення засобів забезпечення якості форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2022;1(75):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.1(75).2022.263575.

12. Kyrychok T, **Bahlai V**, Kyrychok A. Optical methods of banknotes sorting for Ukrainian Hryvnia: results and problems. In: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Correlation Optics (SPIE); 2020 Febr. p. 325–35. DOI:10.1117/12.2553936.

13. Rudenko E, Kyrychok T, Panarin V, Svavilnyi M, Polotskyi D, Skoryk M, **Baglai V**, Talimonova N, Novytska A. Influence of helicon discharge treatment on ensuring adhesive strength of protective PVD coating CrN on brass-based forms of intaglio printing. In: Proceedings of the 15th International Conference Correlation Optics(SPIE); 2021 Sep 13–16. Chernivtsi. DOI: 10.1117/12.2615570.

14. **Баглай В**. Технологічні особливості виготовлення форм інтагліодруку прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції «Друкарство молоде – 2020»; 2020 7–9 квіт; Київ. с. 5–7. Доступно: <http://dm-conf.vpi.kpi.ua/2020/paper/viewFile/20729/10929>.

15. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції

«Поліграфічні, мультимедійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2020)»; 2020 3–6 лис; Київ. с. 5–7. Доступно: <https://vpi.kpi.ua/images/pmwt-conf/zbirnyk-tez-PWM-2020.pdf>

16. **Баглай В.** Патентування інформації про технологічний процес інтагліодруку. В: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги»; 2021 25 лют; Львів. с. 206–207. Доступно: <https://pmtpr.uad.lviv.ua/wp-content/uploads/2023/06/Materialy-KK-2021.pdf>

17. Киричок ТЮ, **Баглай ВА.** Використання методу морфологічного аналізу для проектування технологічного процесу виготовлення форм інтагліодруку. В: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мульти-медійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2021)»; 2021 18–20 трав; Київ; Харків. Доступно: <https://tpv.vpi.kpi.ua/images/pwm/Tezisy-konferenciya-PMW-2021.pdf>.

18. de Heij HAM. Life cycle analyses of security features in banknotes. From central bank to cashier / H. A. M. de Heij // Proceedings of the Conference BANKNOTE 2005. Washington DC, USA, February 20–23, 2005. p. 1–13. De Nederlandsche Bank NV. Available from: <http://www.dnb.nl/binaries>.

19. Gray O. The art and science of intaglio – the cornerstone of security printing. Currency News. 2005;3(2):8–9.

20. Киричок ТЮ. Зносостійкість банкотної продукції. Київ: НТУУ «КПІ»; 2014. 308 с.

21. Interpol. Currency and Counterfeiting [Internet] 1969. Resolution No No 8. Available from: <https://www.interpol.int/content/4/67-RES-11-ang.pdf>.

22. Interpol. Techniques and procedures for manufacturing banknotes and other security documents [Internet]. 1998. Resolution No AGN/67/RES/11. Available from: <https://www.interpol.int/content/download/18750/file/1998%20-%2067th%20GA%20Cairo.pdf>

23. Gord L. Enhancing modern banknotes with traditional features. Currency News. 2005; 3(1):8–9.

24. de Heij HAM. Innovative approaches to the selection of banknote security features. De Nederlandsche Bank NV;2010.
25. de Heij HAM. Life cycle analyses of security features in banknotes. From central bank to cashier. In: Proceedings of the Conference «BANKNOTE 2005»; 2025 Feb 20–23; Washington. p. 1–13. Available from: <http://www.dnb.nl/binaries>.
26. de Heij HAM. Public feed back for better banknote design. In: Proceedings of SPIE «The International Society for Optical Engineering»; 2006;104. Amsterdam. DOI: 10.1117/12.637432
27. Our Specimens. Available from: <https://banknote-solutions.koenig-bauer.com/en/design/specimens/>
28. Cedrian LB. The banknote industry. El Boletín Numismático. 2015;248:13–24.
29. Bender KW. Moneymakers. The secret world of banknote printing. Wiley–VCH; 2006. 317 p.
30. Kipphan H. Handbook of print media. technologies and production methods. Springer; 2001. 1207 p.
31. Iqbal T, Lohweg V. Le DK, Nolte M. Human perception based counterfeit detection for automated teller machines. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics);2009;5803 LNAI:347–354.
32. Lohweg V, Hoffmann JL, Dörksena H, Hildebrand R, Gillicha E, Hofmann J, Schaede J. Banknote authentication with mobile devices. In: Proceedings of the SPIE 8665 «Media Watermarking, Security, and Forensics»; 2013 Mar 22. DOI:10.1117/12.2001444.
33. Презентаційна банкнота «Жюль Верн». Доступно: <https://banknote-solutions.koenig-bauer.com/en/design/specimens/>
34. KBA technology powers banknote innovation. Available from: <https://www.sprinter.com.au/kba-technology-powers-banknote-innovation/>

35. Schmidt K. Technology powers banknote innovation. KBA Report. 2004;2(24):12–13. Available from: <http://www.julesverne.ca/images/imgbanknotes/giori/giori%20newsletter.pdf>
36. KBA–Giori Jules VerneTest BankNote. Available from: [http://www.julesverne.ca/jvbanknote\\_giori.html](http://www.julesverne.ca/jvbanknote_giori.html)
37. Van Renesse RL. Optical document security. Third edition. Boston–London: Artech House; 2005. 368 p.
38. De Heij H. Banknote design for retailers and public. DNB Occasional Studies. 2010;8(4):161–164.
39. Ciaramella V. Intaglio printing. Billetaria. International Review on Cash Management. 2007;2:19–20.
40. Schaede J, Lohweg V. The mechanisms of human recognition as a guideline for security feature development. In: Proceedings of the SPIE 6075 «Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI»; 2006 Feb 9. DOI: 10.1117/12.656529
41. Sound of Intaglio® (Document analysis and classification system (DACS)). Available from: <https://banknote-solutions.koenig-bauer.com/en/design/>
42. Cantero F. Banknote authentication devices. Billetaria. International Review on Cash Management. 2010;8:21–22.
43. Киричок ПО, Величко ОМ, Гавенко СФ, Зоренко ОВ, Киричок ТЮ, Розум ТВ. Український тлумачний словник видавничо-поліграфічної справи: словник. Київ: НТУУ «КПІ»; 2010. 896 с.
44. Nachfolger SJ, Fleming D, Malanga J, Lee C, Pat. Sun Chemical Corporation (USA). WIPO (PCT) Rheologically unique intaglio printing inks. United States patent WO2005090496A1, МПК C09D11/105. 2005 Sep 29.
45. Moynihan JT, Bureau of Engraving and Printing; Soybean oil-based intaglio ink and method for making same. United States patent US 5569701, МПК C08L 67/08., 455994. 1996 Oct 29.
46. Glesias WJ, Fort Lee NJ, Sun Chemical Corporation; Heatset intaglio printing ink. United States patent US 5100934, МПК C08K 5/00. 1992 Mar 31.

47. Treinen H. Research endorses the value of two-sided intaglio. *Currency News*. 2005;3(2):10–11.
48. Киричок ТЮ, Талімонова НЛ. Аналіз причин відбракування банкотної продукції. *Технологія і техніка друкарства*. 2017;4(58):25–32. DOI: 10.20535/2077-7264.4(58).2017.123759
49. Hofmann, J, Gillichb E, Dorksen H, Chassota D, Turke T, Lohweg V. New strategies in image processing for standardized intaglio quality analysis in the printing process. In: *Proceedings of the Conference on Optical Security and Counterfeit Detection «Optical Document Security – IV»*; 2014 Jan 29–31; San Francisco.
50. Киричок ТЮ, Гуца (Коротенко) ОВ. Вплив геометричних параметрів друкувальних елементів форми на тактильність відбитків металографічного друку. *Квалілогія книги*. 2015;2(28):22–26.
51. Smith AH, American Banknote Company. Art of plate-printing. United States patent US538750A. B41M1/10. 1895 May 07.
52. Perron M. Patenting of new banknote security features. *Billetaria. International review on cash managment*. Apr. 2010;9:23.
53. Smith AH, American Banknote Company. Art of plate-printing. United States patent US668358A. B41M1/10. 1901 Feb 19.
54. Gualtierio GP, Polychrome intaglio printing process using a single engraved cliché, machine for its implementation and prints obtained by this process and this machine. France patent FR1259111AB41M3/14. 1961 Apr 21.
55. Gualtierio GP, Improvements in multicolour intaglio printing by means of a single engraved printingplate. United Kingdom patent GB987102A. B41F9/021. 1965 March 24.
56. Bolza-Schuenemann HB, Germann A, Schnellpressenfabrik; Koenig and Bauer AG, Mounting of the impression cylinder of an intaglio press. United Kingdom patent GB987102A. B41F13/30. 1971 Jun 8.

57. Gualtierio GP, KBA Notasys SA ; Copperplate engraving machine for printing paper currency. United States patent US4516496A. B41F9/02. 1985 May 14.

58. Giori F, Dauw D, Perrier J, Mathys L, KBA Notasys SA. Method of manufacturing an engraved plate. European Patent Office patent EP1369230A1. B41N 1/06, B42D 15/00. 2003 Dec 10.

59. Giori F, Dauw D, Perrier J, Mathys L, KBA Notasys SA. A precursor plate for the manufacture of intaglio printing plates for intaglio printing of sheets of security papers and a method of manufacturing an engraved plate. European Patent Office patent EP1987950A3. B41N 1/06, B42D 15/00. 2010 Apr 14.

60. Фаусто Ж, Дірк Д, Жак П, Лоран М, КБА Notasys SA. Спосіб виготовлення гравірованої пластини. Україна патент 78236. B41C 1/02, B23K 26/00, B41M 3/14. 2007 бер 15.

61. Perrier J, Mathys L, KBA Notasys SA. Intaglio printing plate. European Patent Office patent EP1580020A1. B41N 1/06, B42D 15/00. 2005 Sep 28.

62. Kaule W, Mayer K, Giesecke, Devrient GmbH. Process for producing dies. United States patent US20010043842A1. B44B5/026. 2001 Nov 22.

63. Kaule W, Mayer K, Giesecke, Devrient GmbH. Process for producing dies. WIPO patent WO1997048555A1. B44B5/026. 1997 Dec 24.

64. Mayerhofer R, Deinhammer H, Oesterreichische Banknoten-Und Sicherheitsdruck GmbH. Method for producing a printing plate for intaglio printing and corresponding printing plate. WIPO patent WO2005002869A1. B41N1/06. 2005 Jan 11.

65. Deinhammer H, Oesterreichische Banknoten. Device for Engraving. Austria patent AT501045B8. B41C1/05. 2007 Feb 15.

66. Perrier J, KBA Notasys Method and system for manufacturing intaglio printing plates for the production of security papers. European Patent Office patent EP2119527A1. B41N3/003 SA. 2009 Nov 18.

67. JURA's Intaglio Developments. Currency News. Feb 2005;3(2):12; OeBS Getting Back on Track. Currency News. Jul 2005;3(7):4.

68. Schulze C, Franz P, Kliem H-J, Giesecke and Devrient Currency Technology GmbH. Method for the production of an embossing tool for tactile structures. European Patent Office patent EP 3 418 066 B1. B42D 25/324. 2018 Dec 26.

69. Deinhammer H, Loos F, Schwarzbach D, Fajmann P. Direct laser engraving of intaglio printing plates. In: Proceedings of the SPIE 5310 «Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V»; 2004 Jun 3. DOI: 10.1117/12.526899.

70. Петров ВВ. Вибране. Київ: Інститут проблем реєстрації інформації НАН України; 2020. 616 с.

71. Deinhammer H, Schwarzbach D, Kefeder R, Fajmann P. The implication of direct laser engraved intaglio plates on banknote security. Paper presented at the Proceedings of SPIE «The International Society for Optical Engineering». 2006;6075. DOI:10.1117/12.643902.

72. Barna Barabas J. New possibilities offered by Laser-engraved Intaglio Printing Plates. In: Proceedings of the 10th International Currency Conference; 2005 2–5 Oct; Montreal, Quebec, Canada.

73. Paesano G, Mainieri N. New technologies in the intaglio workflow: towards digital systems and eco-friendly processes. Billetaria. International Review on Cash Management. 2012 Apr;11:20–21.

74. Examples of R&D activities carried out in the past. Available from: [https://www.ecb.europa.eu/euro/pdf/ecb.banknote\\_research\\_development\\_past\\_activities.en.pdf](https://www.ecb.europa.eu/euro/pdf/ecb.banknote_research_development_past_activities.en.pdf).

75. Viticoli M, Paesano GM, Pitacco F, Coletta G, European Central Bank (ECB). A precursor plate for the manufacture of an intaglio printing plate, a method of manufacturing the precursor plate and use of the precursor plate. European Patent Office patent EP2835269A1. B41N3/003. 2015 Feb 11.

76. Gremion F, Claude L, KBA Notasys SA. Intaglio printing plate coating apparatus. European Patent Office patent EP2650135A1. C23C14/24. 2013 Oct 16.



77. PLATECOAT. Instruction Manual. KBA Notasys SA, Plate Making Departament; SURCOTEC SA. 74 p.
78. Нестер АА. Оцінка екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат та гальваніки. Екологічна безпека та природокористування. 2017;3–4(24):39–43.
79. Hurynivich A, Maroz U. Reagent technology of joint purification of sewage water for paint and galvanic production. Journal of Ecological Engineering. 2018;19(6):208–216. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/89827>.
80. Погребенник ВД, Нестер АА. Очищення стічних вод гальванічних виробництв: екологічні та економічні аспекти. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019;4(58):142–147.
81. Carol R. Screenprinting and intaglio: the development of coherent, user and environmentally friendly systems for creative printmaking [Doctoral thesis]. University of Sunderland; 2010. Available from: <http://sure.sunderland.ac.uk/5222/Billetaria11/2012>.
82. 1-й наглядний аудит Фабрики банкнотних паперів Банкнотно-монетного двору Нацбанку України на відповідність ISO 9001:2015 та ISO 14001:2015. Доступно: <https://tuv-thuringen.com.ua/uk/our-news/certification-news/166-supervisory-audit-iso-9001-2015-iso-14001-2015-factory-banknotnoy-bumagi-nbu-2019>.
83. Державні стандарти України. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. Київ: Держстандарт України; 2016. 30 с.
84. Державні стандарти України. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT Environmental management systems – Requirements with guidance for use). Київ: Держстандарт України; 2016. 38 с.
85. Державні стандарти України. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ: Держстандарт України; 2021. 39 с.

86. Державні стандарти України. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику / Risk management – Risk assessment techniques. Київ: Держстандарт України; 2014. 79 с.

87. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць [Інтернет] 2020. Наказ № 52. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>

88. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони [Інтернет] 2020. Наказ № 1596. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>

89. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [Інтернет] 2022. Наказ № 721. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>.

90. Петров ВВ. Вплив фізико-хімічних параметрів процесу гальванічного осадження нікелю на характеристики штампів для тиражування компакт-дисків. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2004;6(2):3–10.

91. Kyrychok T et al The influence of pressure during intaglio printing on banknotes durability. Mechanika. 2014;20(3):327–331.

92. Киричок ТЮ, Гуца (Коротенко) ОВ. Вплив металографічного друку на міцнісні характеристики банкнотного паперу. Технологія і техніка друкарства. 2012;2(36):4–10. DOI: 10.20535/2077-7264.2(36).2012.32439

93. Коротенко ОВ. Технологічне забезпечення якості банкнот під час металографічного друку [Дисертація]. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; 2018. 268 с.

94. Киричок ТЮ, Коротенко ОВ. Теоретичний аналіз фарбоперенесення та формування фарбових шарів у процесі інтагліодруку.

Технологія і техніка друкарства. 2022;4(78):22–38. DOI: 10.20535/2077-7264.4(78).2022.278007

95. Киричок ТЮ, Сухіна ЄГ, Гуща (Коротенко) ОВ. Вплив фарб металографічного друку, їх композиційного складу на експлуатаційні властивості банкнотних відбитків. Технологія і техніка друкарства. 2014;2(44):4–22.

96. Киричок ТЮ, Коротенко ОВ. Технологічні фактори впливу на товщину фарбового шару на відбитках металографічного друку. Технологія і техніка друкарства. 2015;4(50):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.4(50).2015.59450

97. Fukuura A, National Printing Bureau Incorporated. Intaglio printing ink. United States patent US20120199029 A1, МПК C09D 11/10. 13/501904. 2012 Aug 09.

98. Rygas TP, Canadian Bank Note Company, Limited. Intaglio printing inks having improved dispersibility and chemical resistance. Canada patent 006833395. МПК C09D 11/10; C08L 67/08; C08K 5/16; C08K 5/17. 2004 Dec 21.

99. Magnin P, Degott P, Chabrier S, SICPA Holding S.A. Intaglio Printing Inks. United States patent 20100181753, МПК G09F 3/00, C09D 11/10, B05D 5/00, B32B 3/10, B42D 15/00, B42D15/10. 2010 Jul 27.

100. Malanga J, et al, Sun Chemical Corporation (USA). Rheologically unique intaglio printing inks. Canada patent CA2559557A1, МПК C09D 11/00. 2006 Sep 12.

101. Deggot P et al, Sicpa Holding SA, Switzerland. Printing method with oxidative-drying intaglio ink and UV-VIS-curable intaglio inks. WIPO patent WO2013139636 A1, МПК C09D 11/00. 2013 Sep 26.

102. Scharkus V, Sokol RH, Schwitzky Vr, Laurent C, Würsch A, Schaede JG, KBA Notasys SA. Ink wiping system of an intaglio printing press and intaglio printing press comprising the same. European Patent Office patent EP2636527A1. B41F9/10. 2013 Sep 11.

103. Amon A, et al, Sicpa Holding Sa. Security document printing ink. United States patent US4966628A. C09D 11/08. 1990 Oct 30.
104. Дяченко СС. Фізичні основи міцності та пластичності металів. Харків: Вид-во ХНАДУ; 2003. 226 с.
105. Daetwyler M, Process for the treatment of intaglio printing plates. European Patent Office patent EP0473973A1/B41C1/05; B41N1/06; B41N1/. 1992 Mar 11.
106. Daetwyler M, Device and treatment method of an intaglio printing plate. European Patent Office patent EP0927645A1; EP0927645B1/B41N3/00 (EP). 1999 Jul 07.
107. Daetwyler M, Manufacture of intaglio printing formes. European Patent Office patent EP1985459A2/B41C1/05;(IPC1-7):B41C1/05. 2008 Oct 29.
108. Rudenko EM, Panarin VY, Kyrychok PO, Svavilnyi MY, Korotash IV, Palyukh OO, Trishchuk RL. Nitriding in a helicon discharge as a promising technique for changing the surface properties of steel parts. Progress in Physics of Metals. 2019;20(3):485–501. DOI:10.15407/ufm.20.03.485.
109. Roik TA, Gavrish AP, Kirichok PA, Vitsyuk YY. Powder metallurgy industry and managerial economics: Effect of secondary structures on the functional properties of high-speed sintered bearings for printing machines. Powder metallurgy and metal ceramics. 2015;54(1–2):119–127. DOI:10.1007/s11106-015-9688-5.
110. Olaleye K, Roik T, Kurzawa A, Gavrysh O, Pyka D, Bocian M, Jamroziak K. Tribosynthesis of friction films and their influence on the functional properties of copper-based antifriction composites for printing machines. Materials Science – Poland. 2022;40(4):147–157. DOI:10.2478/msp-2022-0051
111. Roik TA, Gavrysh OA, Vitsiuk II. Composite antifriction material based on wastes of aluminum alloy for items of post-printing equipment. Powder metallurgy and metal ceramics. 2020;59 (5–6):282–289. DOI:10.1007/s11106-020-00160-7.

112. Miadziak DM, Kulak MI. Theoretical fundamentals of the wear formation and the wear resistance management in printing. Journal of friction and wear. 2018;39(4):274–279. DOI: 10.3103/S1068366618040116.

113. Ives LK, Peterson M, Ruff AW, Harris JS, Boyer PA. Wear due to printing inks. U.S. Department of commerce. National Bureau of Standards. Institute for Materials Science and Engineering. Metallurgy Division, Gaithersburg, MD 20899. Issued May 1987. Final Technical Report. Contract No. N-0283-04. Reproduction in whole or part is permitted for any purpose of the United States Government. 74 p.

114. Elsayad S, Morsy F, El-Sherbiny S, Abdou E. Some factors affecting ink transfer in gravure printing. Pigment and Resin Technology. 2002; 31(4):234–240. DOI 10.1108/03699420210432429

115. Державні стандарти України. ДСТУ ГОСТ 2208:2008 Фольга, стрічки, листи та плити латунні. Технічні умови (ГОСТ 2208–2007, IDT). Київ: Держстандарт України; 2008.

116. Державні стандарти України. ДСТУ ГОСТ 15527:2005 (ГОСТ 15527–2004, IDT). Сплави мідно-цинкові (латуні), оброблювані тиском. Марки. Держспоживстандарт України. Київ: Держстандарт України; 2005. 18 с.

117. International Organization for Standardization. ISO 197-5:1980. Copper and copper alloys – Terms and definitions – Part 5: Methods of processing and treatment. Available from: <https://www.iso.org/standard/4060.html>

118. International Organization for Standardization. ISO 197-1:1983. Copper and copper alloys – Terms and definitions – Part 1: Materials. Available from: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4053/0d84be078c17458c97fac4afc8e097be/ISO-197-1-1983.pdf>

119. Бреславська ОО, Бреславський ДВ. Марочник сталі і сплавів / під керівн. проф. Бреславського Д. В. (НТУ «ХПІ»). Авторське свідоцтво України на твір №7533 від 08.05.2003. Доступно: <http://www.splav-kharkov.com/>

120. International Organization for Standardization. ISO 27831-2:2008. Metallic and other inorganic coatings – Cleaning and preparation of metal surfaces – Part 2: Non-ferrous metals and alloys. Available from: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/44346/eb682a7815e649cf98ee5a75853816ad/ISO-27831-2-2008.pdf>

121. ACSYS Lasertechnik GmbH. Available from: <https://www.acsys.de/en/laser-systems.html>

122. SURCOTEC S.A. PVD deposits. Magnetron sputtering. Available from: <https://surcotec.ch/en/services/pvd-deposits/>

123. Semenyuk VF, Rudenko EM, Korotash IV, Osipov LS, Polotskiy DY, Shamray KP, Sologub VA. Unitized ion-plasma processing equipment for fabrication of nanostructures. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2011;33(2):223–231. Available from: [www.scopus.com](http://www.scopus.com).

124. Semenyuk VF, Virko VF, Korotash IV, Osipov LS, Polotsky Yu, Rudenko EM, Shamrai KP. Controlling parameters determining technological properties of a helicon discharge system. *Problems of atomic science and technology*. 2013;4:179–182. Available from: [www.scopus.com](http://www.scopus.com).

125. Rudenko EM, Panarin VYe, Kyrychok PO, Svavilnyi MY, Korotash IV, Polotskyi DY, Trishchuk RL. Hardening of a Surface of Steel 45 by the Ion Nitridation in a Helicon Discharge. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol*. 2018;40(8):993–1004. DOI: 10.15407/mfint.40.08.0993.

126. Державні стандарти України. ДСТУ 7175:2010 Метали і сплави. Методи металографічного контролювання. Терміни та визначення понять. Київ: Держстандарт України; 2010. 26 с. Доступно: [http://ksv.do.am/GOST/DSTY\\_ALL/DSTY1/dsty\\_7175-2010.pdf](http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY1/dsty_7175-2010.pdf)

127. International Organization for Standardization. ISO/CD TR 20580. Preparation of metallographic specimens. Available from: <https://www.iso.org/standard/68451.html>

128. International Organization for Standardization. ISO 4499-1:2008(en). Hardmetals – Metallographic determination of microstructure – Part 1:

Photomicrographs and description. Available from:  
<https://www.iso.org/standard/43500.html>.

129. Роїк ТА, Киричок ПО, Гавриш АП. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації. Київ; 2007. 404 с.

130. International Organization for Standardization. ISO 1463:2003. Metallic and oxide coatings – Measurement of coating thickness – Microscopical method. Available from: <https://www.iso.org/standard/31239.html>.

131. International Organization for Standardization. ISO 14577-4:2016. Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters – Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings. Available from: <https://www.iso.org/standard/61823.html>

132. International Organization for Standardization. ISO 6507-1:2018. Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method. Available from: <https://www.iso.org/standard/64065.html>.

133. Твердомір HV-1000B (LEADTEK). Доступно:  
<http://tverdomer.in.ua/>

134. International Organization for Standardization. ISO 14577-1:2015. Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters – Part 1: Test method. Available from: <https://www.iso.org/standard/56626.html>

135. Helmut Fischer GmbH. Institut für elektronik und messtechnik. Microhardness Product Line. Measurement systems for nanoindentation. Available from: [https://de.helmut-fischer.com/wp-content/uploads/2022/04/BROC\\_Mikrohaerte\\_en.pdf](https://de.helmut-fischer.com/wp-content/uploads/2022/04/BROC_Mikrohaerte_en.pdf).

136. Measurement of hard material coatings. Available from: <http://www.kks.com.au/wp-content/uploads/2014/01/Helmut-Fischer-Fischerscope-XRF-x-ray-Measurement-of-Hard-Metal-Coatings.pdf>.

137. International Organization for Standardization. ISO 21920-2:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 2: Terms,

definitions and surface texture parameters. Available from: <https://www.iso.org/ru/standard/72226.html>

138. Майданюк СВ, Плівак ОА. Модуль вимірювання сил різання. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Машинобудування. 2016;2:15–22.

139. Киричок ТЮ, Лотоцька ОІ. Мережеві електронні видання: довідник. Київ: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка»; 2016. 298 с.

140. International Organization for Standardization. ISO 1463:2021. Metallic and oxide coatings – Measurement of coating thickness – Microscopical method. Available from: <https://www.iso.org/standard/78374.html>.

141. De Heij H. Quality marks in banknote design. Materials Committee. European Banknote Committee. Athens, 27–28 May. 2008. De Nederlandsche Bank N.V. Available from: [https://www.dnb.nl/en/binaries/Quality\\_marks\\_in\\_banknote\\_design\\_tcm47.pdf](https://www.dnb.nl/en/binaries/Quality_marks_in_banknote_design_tcm47.pdf).

142. Glass JE, Prud'homme RK. Coating rheology: component influence on the rheological response and performance of water-borne coatings in roll applications. Liquid film coating. Springer, Dordrecht; 1997. 238 p.

143. Bery YA. Mechanisms governing gravure printing. Atlanta: TAPPI Press; 1985. 11 p.

144. Ahn S, Na Y. On the ink transfer process in gravure printing. Computational science and its applications. lecture notes in computer science. ICCSA, Springer, Berlin, Heidelberg; 2007;4706:907–918.

145. Kyrychok T, Korotenko O. 3D light interferometry investigation of ink layer formation during intaglio printing. In: Proceedings SPIE 11369 of the Fourteenth International Conference on Correlation Optics; 2020 Feb 6. DOI: 10.1117/12.2553475

146. Benkreira H, Patel R. Direct gravure roll coating. Chemical engineering science. 1993;48(12):2329–2335.

147. Коротенко ОВ. Методологія визначення узагальненого показника якості відбитків металографічного друку. Технологія і техніка друкарства.



2018;1(59):60–67. DOI: 10.20535/2077-7264.1(59).2018.135470.

148. Киричок ТЮ, Гуща ОВ, Сухіна ЄГ, Пінчук МВ. Методологія дослідження якості штрихів металографічного друку за допомогою профілографування поверхні відбитків. Технологія і техніка друкарства. 2015;2(48):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.2(48).2015.47125.

149. Теорія пластин і оболонок: конспект лекцій. Суми: Видавництво СумДУ; 2010. 67 с.

150. Yusoff Z, Jamaludin ShB. Tribology and development of wear theory: review and discussion. International journal of current research and review. Feb 2011;3(2):13–26.

151. Державні стандарти України. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України. Доступно: [https://dnaop.com/html/62330/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_2823-94](https://dnaop.com/html/62330/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2823-94)

152. Закалов ОВ, Закалов ІО. Основи тертя і зношування в машинах. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулля; 2011. 322 с.

153. Шукаєв СМ, Гладкий ММ, Шубін СМ. Вплив концентрації напружень на втомну міцність сталі 20. Вісник НТУУ «КП». Машинобудування. 2012;65:96–100.

154. Зайцева НВ, Герцрикен ДС, Вронська ЮО, Савчук МІ. Адгезія електроіскрових хромових покриттів на крицевих деталях. Metallphysics and Advanced Technologies. 2023;45(1):45–53. DOI: 10.15407/mfint.45.01.0045.

155. Березін ЛМ, Рубанка ММ. До розрахунків деталей на міцність в ймовірнісному аспекті. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. 2018;4(124):17–25. DOI: 10.30857/1813-6796.2018.4.2

156. Saaty TL. How to make and justify a decision: the analytic hierarchy process. Part 1. Examples and Applications. Interfaces. 1994;24(6):19–43.

157. Котляров ВП, Лаврінєнков ЄО, Титаренко ОО, Аліверді МА. Особливості лазерного гравірування виробів із пластмас. Наукові вісті НТУУ

«КПІ». 2010;6:90–97.

158. Державні стандарти України. ДСТУ ISO 8258:2001. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT). Київ: Держстандарт України; 2003. 32 с.

159. Pizzi A, Mittal KL. Handbook of adhesive technology, Third Edition. CRC Press; 2020. 658 p.

160. Zhang J, Feng L, Lu J, Qin Q, Liu L, Liu H. A novel automatic full-scale inspecting system for banknote printing plates. In: Proceedings SPIE 10616 2017 International conference on optical instruments and technology «Optical systems and modern optoelectronic instruments»; 2018 10 Jan. DOI: 10.1117/12.2295516/

161. JURA. Software solutions, offset and digital intaglio platemaking, and prepress quality control for high security prepress systems. Prepress Quality Control. Available from: <https://jura.hu/high-security-prepress/>

162. Kern T, Emerich M. New level of optical measurement and inspection in intaglio plate making and printing. In Proceedings Optical document security II Conference on optical security and counterfeit deterrence. San Francisco; California; 2010 20–22 Jan. p. 115–24.

163. Funk M, Gillich E, Dorksen H, Lohweg V, Hofmann J, Turke T, Chassota D, Schaede J. Intaglio quality measurement In: Proceedings of the «Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques»; 2016 Feb; San Francisco. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/282327575\\_Intaglio\\_Quality\\_Measurement](https://www.researchgate.net/publication/282327575_Intaglio_Quality_Measurement)

## ДОДАТОК А.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

**I. Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus:**

1. Руденко ЕМ, Свавільний МЄ, Киричок ТЮ, Панарін ВЄ, **Баглай ВА**, Олійник ВГ, Дякін МВ. Модифікування структури поверхні латуні Л63 після оброблення йонним розпорошенням у геліконному розряді. Металофізика та новітні технології. 2023;45(2):183–197. DOI: 10.15407/mfint.45.02.0183. *Здобувачем обґрунтовано необхідність забезпечення належного очищування гравійованих форм перед PVD та запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття.*

**II. Публікації у наукових фахових виданнях України:**

2. Киричок ТЮ, Герук ЯВ, **Баглай ВА**. Система формування якості друкованої сувенірної продукції банкотно-монетних дворів світу. Технологія і техніка друкарства. 2018;1:4–10. DOI: 10.20535/2077-7264.1(59).2018.137811. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

3. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Талімонов ЯЮ. Дослідження явища перебивання фарби на папері спеціального призначення, виготовленого за різними технологіями. Технологія і техніка друкарства. 2019;1(63):19–27. DOI: 10.20535/2077-7264.1(63).2019.180649. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

4. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Система формування тиражостійкості форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2019;3(65):15–24. DOI: 10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565. *Здобувачем проведено аналіз існуючих технологій виготовлення форм, проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, виокремлено фактори, що впливають на*

*тиражестійкість.*

5. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА, Регіда ПГ. Методика автоматизованого оцінювання якості технологічної операції прямого лазерного гравіювання форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2019;4(66):31–41. DOI: 10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

6. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Безпалий АА. Вплив технологічних параметрів на властивості друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;3(69):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

7. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, Безпалий АА. Дослідження якості поверхні друкувальних елементів форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. Технологія і техніка друкарства. 2020;4(70):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.4(70).2020.229630. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

8. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**, Горова ТВ, Сокол ОП, Комарницька АО, Сичик ЮВ. Аналіз відповідності фахових видань, що входять до наукометричних баз даних, предметній області спеціальності 186 Видавництво та поліграфія. Технологія і техніка друкарства. 2021;1(71):4–26. DOI: 10.20535/2077-7264.1(71).2021.239073. *Здобувачем проведено аналіз фахових видань, дотичних до виготовлення захищеної поліграфічної продукції.*

9. Киричок ТЮ, Талімонова НЛ, Клименко ТЄ, **Баглай ВА**, Руденко ЕМ, Талімонов ЯЮ, Новицька АЄ. Вплив технологічних режимів обробки латунної основи на якість форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2021;2(72):13–19. DOI: 10.20535/2077-7264.2(72).2021.123609.

*Здобувачем визначено проблему недостатньої адгезійної міцності захисного покриття форм. Для забезпечення належного очищування форм перед PVD здобувачем запропоновано варіювати режими оброблення форм перед напиленням захисного покриття.*

10. Киричок ТЮ, Коротенко ОВ, **Баглай ВА**. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну точність відбитків. Технологія і техніка друкарства. 2021;4(74):4–15. DOI: 10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285. *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, зроблено висновки.*

11. Киричок ТЮ, **Баглай ВА**. Визначення засобів забезпечення якості форм інтагліодруку. Технологія і техніка друкарства. 2022:1(75):4–14. DOI: 10.20535/2077-7264.1(75).2022.263575. *Здобувачем узагальнено проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, виокремлено фактори, що забезпечують якість форм, сформовано домінантну ієрархію, проведено експертне оцінювання, зроблено висновки.*

### **III. Публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus:**

12. Kyrychok T, **Bahlai V**, Kyrychok A. Optical methods of banknotes sorting for Ukrainian Hryvnia: results and problems. In: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Correlation Optics (SPIE); 2020 Febr. p. 325–35. DOI:10.1117/12.2553936 (SCOPUS). *Здобувачем сформульовано задачу, запропоновано методологію дослідження, проведено статистичний аналіз зношування банкнот, зроблено висновки.*

13. Rudenko E, Kyrychok T, Panarin V, Svavilnyi M, Polotskyi D, Skoryk M, **Baglai V**, Talimonova N, Novytska A. Influence of helicon discharge treatment on ensuring adhesive strength of protective PVD coating CrN on brass-based forms of intaglio printing. In: Proceedings of the 15th International Conference Correlation Optics(SPIE); 2021 Sep 13–16. Chernivtsi. DOI: 10.1117/12.2615570 (SCOPUS). *Здобувачем визначено проблему забезпечення належного очищування форм перед PVD та запропоновано варіювати режими*

*оброблення форм перед напиленням захисного покриття.*

#### **IV. Публікації у збірниках матеріалів конференцій:**

14. **Баглай В.** Технологічні особливості виготовлення форм інтагліодруку прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції «Друкарство молоде – 2020»; 2020 7–9 квіт; Київ. с. 5–7. Доступно: <http://dm-conf.vpi.kpi.ua/2020/paper/viewFile/20729/10929>.

15. Киричок ТЮ, **Баглай ВА.** Напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням. В: Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2020)»; 2020 3–6 лис; Київ. с. 5–7. Доступно: <https://vpi.kpi.ua/images/pmwt-conf/zbirnyk-tez-PWM-2020.pdf> *Здобувачем проведено аналіз існуючих технологій виготовлення форм, проблеми, що спричиняють зниження тиражестійкості, визначено напрямки забезпечення тиражестійкості форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням.*

16. **Баглай В.** Патентування інформації про технологічний процес інтагліодруку. В: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги»; 2021 25 лют; Львів. с. 206–207. Доступно: <https://pmtip.uad.lviv.ua/wp-content/uploads/2023/06/Materialy-KK-2021.pdf>

17. Киричок ТЮ, **Баглай ВА.** Використання методу морфологічного аналізу для проектування технологічного процесу виготовлення форм інтагліодруку. В: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мульти-медійні та web-технології = Print, Multimedia & WEB (PMW–2021)»; 2021 18–20 трав; Київ; Харків. Доступно: <https://tpv.vpi.kpi.ua/images/pwm/Tezisy-konferenciya-PMW-2021.pdf>. *Здобувачем запропоновано застосувати метод морфологічного аналізу для формування технологічного процесу.*

## ДОДАТОК Б

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчальної роботи  
 Національного технічного університету  
 України «Київський політехнічний  
 інститут імені Ігоря Сікорського»



Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО

09 2023 р.

**ДОВІДКА ПРО ВИКОРИСТАННЯ**

результатів дисертаційної роботи Баглая Володимира Анатолійовича  
 «Технологічне забезпечення якості форм інтаглідруку»  
 у навчальному процесі підготовки бакалаврів та магістрів спеціальності  
 186 Видавництво та поліграфія  
 Національного технічного університету України  
 «Київський політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

Ми, що нижче підписалися, комісія у складі: завідувачка кафедри технології поліграфічного виробництва (ТПВ), д.т.н., проф. Киричок Т. Ю., в. о. завідувача кафедри репрографії д.т.н., проф. Палюх О. О., заступник директора, голова методичної комісії НН ВПІ доцент кафедри ТПВ, к.т.н., доц. Бараускєне О. І., доцент кафедри ТПВ, к.т.н., доц. Клименко Т. Є, склали цю довідку про використання результатів дисертаційної роботи Баглая Володимира Анатолійовича «Технологічне забезпечення якості форм інтаглідруку» у навчальному процесі кафедри ТПВ та кафедри репрографії, а саме: результати роботи враховано при розробленні навчальних програм (силабусів) та впроваджено: з 2018/19 н.р. у викладанні дисципліни «Захист інформації в поліграфії» під час проведення лекційних і лабораторних занять для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти; з 2022/23 н.р. у викладанні дисципліни «Технології захисту друкованої продукції» під час проведення лекційних і практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Зав. каф. ТПВ, д.т.н., проф.

Тетяна КИРИЧОК

В. о. зав. каф. репрографії,  
д.т.н., проф.

Олександр ПАЛЮХ

Доцент кафедри ТПВ, к.т.н., доц.

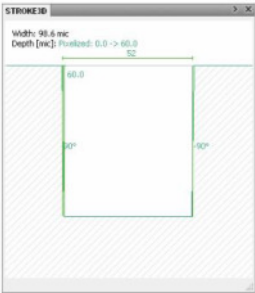
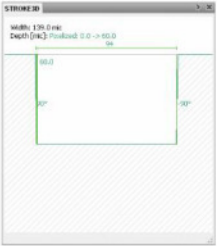
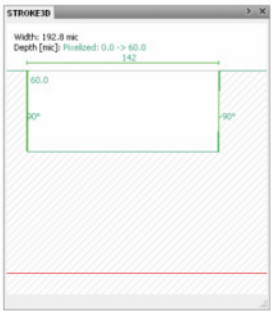
Оксана БАРАУСКЄНЕ

Доцент кафедри ТПВ, к.т.н., доц.

Тетяна КЛИМЕНКО

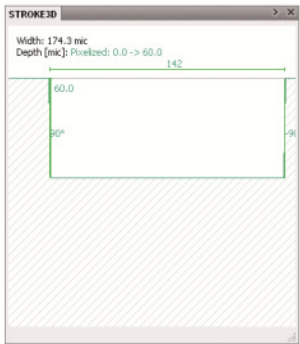
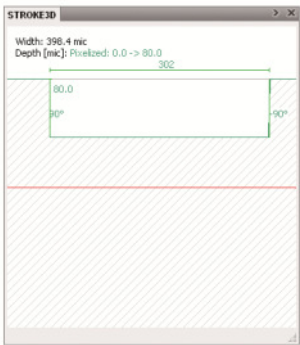
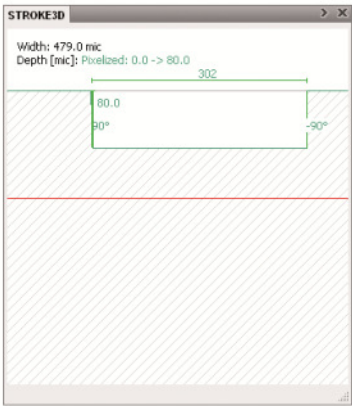
## ДОДАТОК В

Таблиця В.1. Параметри запроєктованих профілів штрихів плашок модельної форми 1

№	Запроєктований профіль та напрямок гравіювання штриха*	Ширина штриха**, мкм	Глибина штриха**, мкм
1	2	3	4
1		50	60
2		90	60
3		140	60



Таблиця В.1 (продовження)

1	2	3	4
4		140	60
5		300	80
6		300	80

\* - файл розроблено за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;

\*\* - задані в програмному забезпеченні розміри.