

© Т. Ю. Киричок, д-р техн. наук, проф., В. А. Баглай, аспірант, Н. Л. Талімонова, канд. техн. наук, доц., Т. Є. Клименко, канд. техн. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, А. А. Безпалый, канд. техн. наук, старш. фахівець служби досліджень та розвитку технологій Банкнотно-монетного двору Національного банку України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДРУКУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФОРМ ІНТАГЛІОДРУКУ, ВИГОТОВЛЕНИХ ПРЯМИМ ЛАЗЕРНИМ ГРАВІЮВАННЯМ

Досліджено параметри профілю гравійованих штрихів, отриманих методом прямого лазерного гравіювання; виявлено, що особливості обробки матеріалу форми лазером під час DLE, впливає на шорсткість оброблених поверхонь та утворює напливи, що може впливати на адгезію захисного покриття, якість формування фарбового шару на відбитку, його тактильні та колірні властивості.

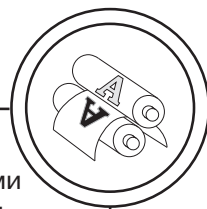
Ключові слова: інтагліодрук; пряме лазерне гравіювання; гравійовані штрихи; профілограма; тиражостійкість.

Постановка проблеми

Банкноти більшості держав містять металографічний (інтагліо) друк, оскільки рельєфне зображення, що він створює, може легко розпізнаватися населенням і бути ознакою банкноти першої лінії контролю автентичності [1–4]. Хоча цьому способу друку вже більше чотирьох століть (спочатку виник як різновид гравюри), технологія інтагліодруку постійно розвивається [5]. Зусилля розробників спрямовані на вдосконалення друкарського обладнання, рецептури фарб, що мали б як хороші друкарські, так і нові захисні властивості, удосконалення процесу виготовлення друкарських форм [6, 7]. Увагу нау-

ковців привертає перспективна технологія виготовлення форм інтагліодруку шляхом прямого лазерного гравіювання (DLE — Direct Laser Engraving), що дозволяє уникати багатьох технологічних операцій, які є невід’ємними при класичному виготовленні форм інтагліодруку [8, 9]. Під час гравіювання мають бути дотримані геометричні параметри елементів друкарської форми для подальшого формування рельєфного фарбового шару, що забезпечить необхідні тактильні властивості та колірні характеристики відбитка [10].

Зважаючи на це, актуальним є дослідити та встановити залежність параметрів профілю гра-



війованого штриха, отриманого методом DLE від запроєктованих параметрів (зокрема, кута нахилу бічних стінок, ширини, глибини гравійованих елементів), що дозволить удосконалити режими виготовлення форм інтаглідруку.

Аналіз попередніх досліджень

Для виготовлення форм металографічного друку можливе застосування декількох технологій. Традиційний спосіб виготовлення форм передбачає порівняно довгий технологічний процес, що включає в себе: гравіювання латунної пластини (матриця); нанесення роздільного шару на гравіювану поверхню; електролітичне осаджування нікелевої контрматриці; відділення нікелевої контрматриці від латуні; нанесення на нікелеву контрматрицю роздільного шару; електролітичне осаджування майбутньої нікелевої форми на контрматрицю; розділення контрматриці і нікелевої форми; напилення на поверхню нікелевої форми нітриду хрому [8, 9].

Технологія прямого лазерного гравіювання дозволяє значно скоротити процес виготовлення форм, але водночас може спричинити зниження тиражостійкості (через відшарування захисного нітрид-хромового покриття) та невідповідність отриманих штрихів запроєктованим параметрам профілю. У попередніх дослідженнях було виокремлено фактори, що впливають на тиражостійкість форм інтаглідруку, серед яких найбільш значущими є параметри процесу DLE та процесу вакуумного напилен-

ня, параметри штрихів форми інтаглідруку, шорсткість пробільних та друкувальних елементів [11]. Зважаючи на це, особливу увагу варто приділити рельєфу дна гравіюваного штриха, оскільки від його параметрів залежатиме якість формування фарбового шару на відбитку, його тактильні та колірні властивості.

Мета роботи

Дослідити параметри якості поверхні профілю гравіюваних штрихів, отриманих методом DLE та встановити відповідність цих параметрів запроєктованим.

Методика досліджень

Модельна форма з плашками, кожна з яких являє собою сукупність гравіюваних штрихів певного виду — прямокутного та трапецієподібного профілю, шириною 300 мкм, глибиною 60–100 мкм (табл. 1, 2) — запроєктовано і виготовлено фахівцями Банкотно-монетного двору Національного банку України з використанням системи прямого лазерного гравіювання Jura JSP Direct Laser Engraver (тип лазера — неодимовий (Nd:YAG, алюмо-ітрієвий гранат легований іонами неодиму); довжина хвилі 1064 нм; потужність 1,77 кВт; матеріал пластини — латунь Л63; товщина пластини 0,977–1,032 мм. область гравіювання — 54×54 мм.

Після гравіювання було проведено чистку поверхні пластини від окалини розчином для чистки, що відбувалося у кілька етапів: знежирення поверхні карбонатом кальцію з винним оцтом; змивання залишків карбонату кальцію винним оцтом; змивання залишків



оцту демінералізованою водою; сушіння поверхні пластини стислим повітрям.

Після виконання підготовчих етапів було проведено нанесення захисного покриття нітриду хрому під час процесу вакуумного розпилення хромової мішені в аргонно-азотній суміші у вакуумній камері (процес PVD — Plate Vapour Deposition). Товщина захисного покриття становить 2–4 мкм.

Із ділянок штрихів модельної форми відповідно до стандартних методик підготовлено металографічні шліфи перпендикулярно до площини пластини і гравійованих штрихів. Одержані в такий спосіб зразки досліджені за допомогою фотомікроскопа віддзеркаленого світла Neophot-32, який дає можливість досліджувати травлені та нетравлені мікрошліфи та фотографувати їх зі збільшенням до $\times 1000$ [12, 13].

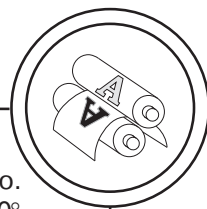
Мікроскопічні дослідження поверхні дна друкувальних елементів було проведено за допомогою фотомікроскопа віддзеркаленого світла Neophot-32 із фотофіксацією зі збільшенням $\times 100$ та $\times 400$.

Також було проведено дослідження профілю штрихів методом профілометрії. Цей метод базується на контактному аналізі ділянки поверхні друкарської форми з гравійованими штрихами тонкою голкою, що дає змогу отримати збільшене зображення профілю поверхні за допомогою профілометра. В таких приладах досліджувана поверхня аналізується алмазною голкою з радіусом закруглення 10–12,5 мкм [14].

За допомогою профілометра проводилися вимірювання поверхневої структури зразків друкарських форм на ділянках гравійованих штрихів певного виду з різними параметрами, що були задані при виготовленні форм. Порівнюючи друкарські форми можна оцінити профіль дна штриха, це може вплинути на якість фарбоперенесення, тактильність та колірні характеристики. 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 [15].

Таблиця 1
Параметри досліджуваних штрихів форм інтаглідруку

№ зразка	Параметри, що були задані при виготовленні форми				
	Ширина штриха, мкм	Глибина штриха, мкм	Відстань між штрихами, мкм	Кут грані штриха, град.	Кут до машинного напрямку, град
15	300	60	450	90	45
16	300	80	450	90	45
17	300	100	450	90	45
18	300	80	450	45	45
19	300	80	450	90	90
20	300	80	450	90	0



Результати проведених досліджень

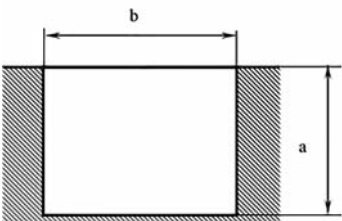
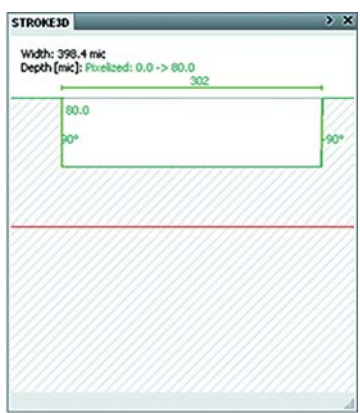
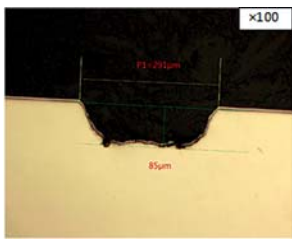
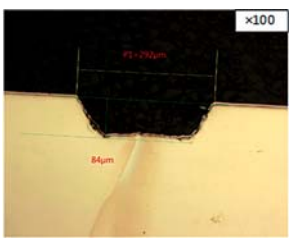
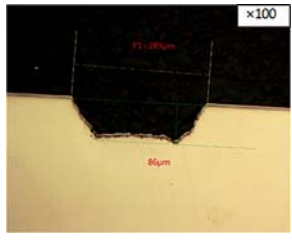
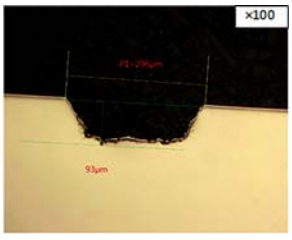
Вивчення мікрошліфів (табл. 2) показало, що всі гравійовані штрихи зразка мають відхилення від за-

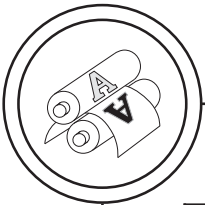
даного геометричного профілю. Зокрема, нахил стінки штриха 90° зменшується до $60^\circ - 75^\circ$.

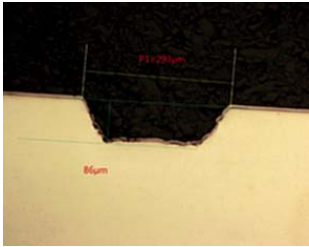
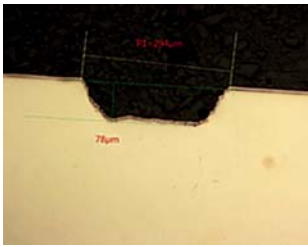
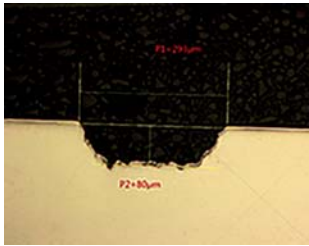
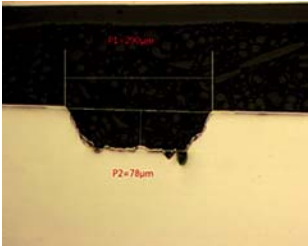
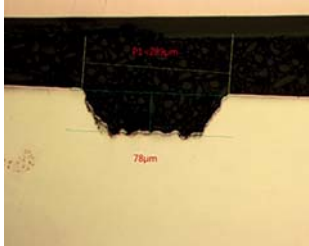

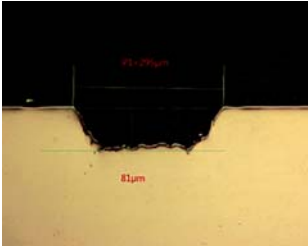
Крім того, дно друкувальних елементів має суттєві нерів-

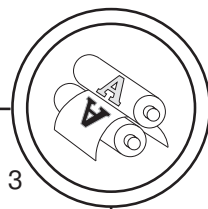
Таблиця 2

Заданий та фактичний геометричний профіль друкувального елемента

<p>Заданий профіль друкувального елемента та його параметри</p>  <table border="1" data-bbox="184 942 511 1104"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Тип лазера</td> <td>НЗН</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>80 мкм</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>300 мкм</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значення	Тип лазера	НЗН	a	80 мкм	b	300 мкм	<p>Профіль друкувального елемента після програмної обробки</p> 
Параметр	Значення								
Тип лазера	НЗН								
a	80 мкм								
b	300 мкм								
<p>Фактично отримані профілі друкувального елемента</p>									
<p>19_1_100</p> 	<p>19_2_100</p> 								
<p>19_3_100</p> 	<p>9_4_100</p> 								



Фактично отримані профілі друкувального елемента	
19_5_100 	19_6_100 
20_1_100 	20_2_100 
20_3_100 	20_4_100 
20_5_100 	20_6_100 



ності, що сприяє погіршенню адгезії захисного PVD покриття: спостерігається суттєве відшарування захисного покриття.

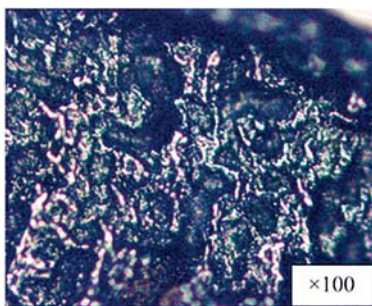
Дослідження мікрофотографій (рис. 1) поверхні дна друкувальних елементів показало, що нерівності мають регулярний характер, що спричинено особливостями лазерного оброблення поверхні.

Геометричні розміри нерівностей встановлено за допомогою профілографування поверхні пробільних та друкувальних елементів форм. Результати вимірювань наведені в табл. 3.

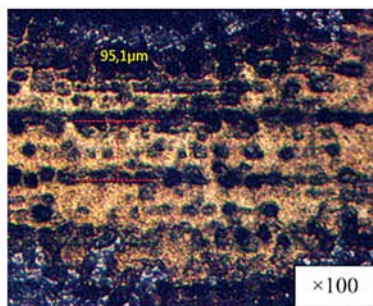
Таблиця 3

Параметри профіля дна друкувальних елементів

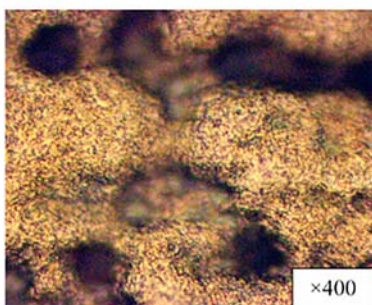
№ зразка	Параметри шорсткості		
	Ra	Rz	Rmax
15	2,54	10,18	10,56
16	0,99	3,94	5,1
17	2,52	10,06	15,0
18	2,29	10,1	10,7
19	0,95	3,79	4,46
20	0,95	3,83	5,58



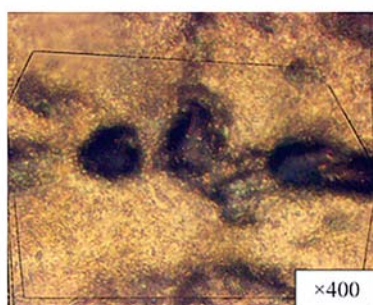
а



б

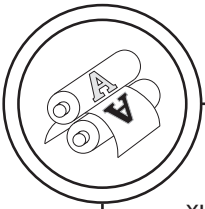


в



г

Рис. 1. Мікрофотографії дна великих друкувальних елементів інтагліоформ: а — дно друкувального елемента зі зносостійким PVD-покриттям; б, в — «дно» друкувального елемента із зруйнованим зносостійким PVD-покриттям; г — 3-D зображення «дна» друкувального елемента із зруйнованим зносостійким PVD-покриттям

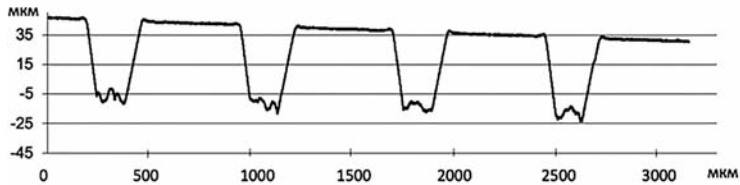


Типові профілограми поверхні досліджуваних друкарських форм на ділянках пробільних та друкувальних елементів (довжина трасування 3200 мкм) показано на рис. 2, а типові профілограми дна друкувальних елементів (довжина трасування 100 мкм) — на рис. 3.

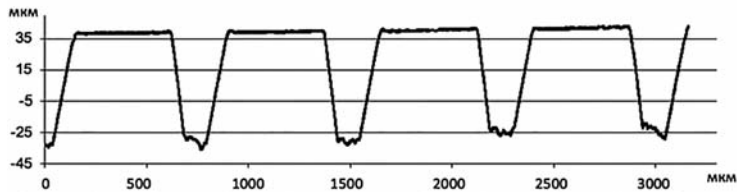
Аналіз профілограм поверхні досліджуваних друкарських форм на ділянках пробільних та друкувальних елементів показує, що шорсткість пробільних елементів форм суттєво нижча, ніж шорсткість дна друкувальних елементів,

що повністю кореспондується з даними досліджень мікрослївів та мікроскопії дна друкувальних елементів.

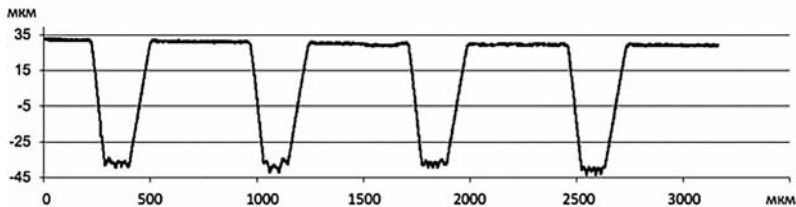
Обмежена роздільна здатність методу не дозволила достовірно оцінити шорсткість стінок друкувальних елементів. Тому в подальших дослідженнях доцільно застосувати методи оптичного профілографування. Також планується дослідити шорсткість поверхні усіх елементів форми до напilenня захисного PVD покриття.



а

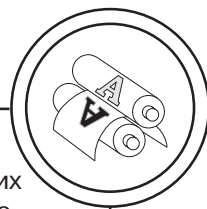


б



в

Рис. 2. Типова профілограма поверхні друкарської форми в ділянках пробільних та друкувальних елементів (довжина трасування 3200 мкм): а — зразок 15; б — зразок 19; в — зразок 20



Висновки

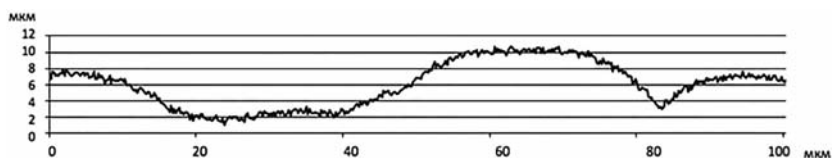
Дослідження методами оптичної металографії шліфів гравійованих штрихів, що відрізнялися запроєктованим профілем (глибиною (60–100 мкм), кутом нахилу стінок штриха (45°; 90°) показало, що всі гравійовані штрихи зразка мають відхилення від заданого геометричного профілю (нахил стінки штриха 90° зменшується до 60°–75°), є несиметричними, захисне PVD покриття має недостатню адгезію до основного матеріалу форми.

Дослідження шорсткості поверхні досліджуваних друкарських

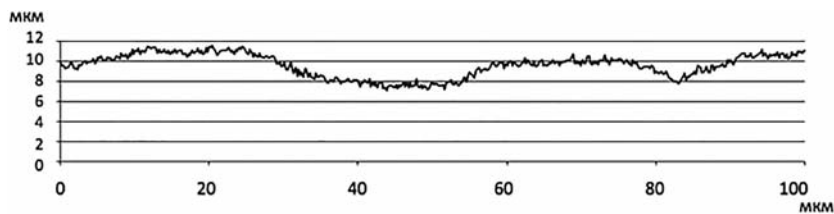
форм на ділянках пробільних та друкувальних елементів за допомогою механічного профілографування показало, що шорсткість пробільних елементів форм суттєво нижча ніж шорсткість друкувальних елементів, що повністю кореспондується з даними досліджень мікрошліфів.

Також це підтверджено мікроскопічними дослідженнями друкувальних елементів: нерівності мають регулярний характер, що спричинено особливостями лазерного оброблення поверхні.

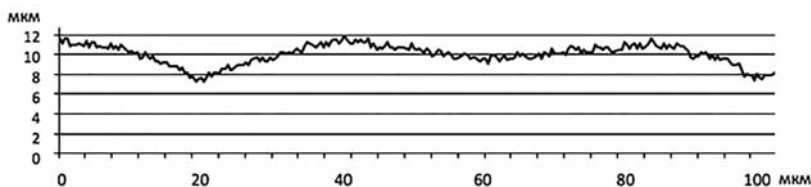
Аналіз отриманих даних дає підстави стверджувати, що особли-



а

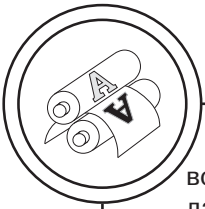


б



в

Рис. 3. Типова профілограма дна друкувального елемента (довжина трасування 100 мкм): а — зразок 15; б — зразок 19; в — зразок 20

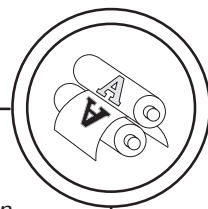


вості обробки матеріалу форми лазером під час DLE, впливає на шорсткість оброблюваних поверхонь та утворює напливи, що може мати негативний вплив на адгезію захисного PVD по-

криття, що суттєво знизить тиражостійкість друкарських форм. Зважаючи на цей факт, доцільним є удосконалення технологічних режимів лазерного гравіювання поверхні латуні.

Список використаної літератури

1. Киричок П. О. Захист цінних паперів та документів суворого обліку [Текст]: моногр. / П. О. Киричок, Ю. М. Коростіль, А. В. Шевчук. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 368 с.
2. Van der Horst F. Perception of public security features on euro banknotes; a qualitative study on confidence and authenticity / Van der Horst F., H. de Heij, J. Miedema and M. van der Woude (2017) // IBDA INSIGHT. 2017. Vol. 13. P. 53–55.
3. Van Renesse R. L. 2005. Optical document security. Third edition. Artech House. 368 p.
4. Banknotes: under- or over-featured? / Infosecura Banknote Printing [Electron resource]. November 2014. No. 62. P. 6–9. Access link: <https://www.securityprinters.org/dwl/Infosecura62.pdf>.
5. Bender K. W. Moneymakers. The secret world of banknote printing / K. W. Bender. Wiley-VCH, 2006. 317 p.
6. Treinen H. Research endorses the value of two-sided intaglio / H. Treinen // Currency News. Vol. 3(2). February 2005. P. 10–11.
7. Kyrychok T. The influence of pressure during intaglio printing on banknotes durability / Slegio itaka banknotu patvarumui spausdinant giliaspaude / T. Kyrychok, P. Kyrychok, S. Havenko, E. Kibirskštis, V. Miliūnas // Mechanika, 2014. Vol. 20. No. 3. P. 327–331.
8. Harald Deinhammer, Franz Loos, Daniel Schwarzbach, and Peter Fajmann. Direct laser engraving of intaglio printing plates. Proc. SPIE 5310, Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V, (3 June 2004); <https://doi.org/10.1117/12.526899>.
9. Harald Deinhammer, Daniel Schwarzbach, Rudolf Kefeder and Peter Fajmann. The implication of direct laser engraved intaglio plates on banknote security // Proc. SPIE 6075, Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI, 607503 (9 February 2006); <http://doi.org/10.1117/12.643902>.
10. Киричок Т. Ю. Зносостійкість банкнотної продукції: монографія / Т. Ю. Киричок. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 308 с.
11. Киричок Т. Ю. Система формування тиражостійкості форм інтагліо-друку / Т. Ю. Киричок, В. А. Баглай // Технологія і техніка друкарства: збірник наукових праць. 2019. Вип. 3(65). С. 15–24. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(65\).2019.196565](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565).
12. ISO 14577-1:2015. Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. — Part 1: Test method.
13. ДСТУ 7175:2010 Метали і сплави. Методи металографічного контролювання. Терміни та визначення понять; ISO/CD TR 20580.
14. ISO 4287:1997. Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters.
15. Майданюк С. В. Модуль вимірювання сил різання / С. В. Майданюк, О. А. Плівак // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Машинобудування. 2016. № 2. С. 15–22. Режим доступу: https://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_mash_2016_2_4.



References

1. Kyrychok, P. O. & Korostil, Yu. M. & Shevchuk, A. V. (2008). *Zakhyst tsinykh paperiv ta dokumentiv suvoroho obliku [Protection of securities and strict accounting documents]*. Kyiv: NTUU 'KPI' [in Ukrainian].
2. Van der Horst, F. & de Heij, H. & Miedema, J. & van der Woude, M. (2017). Perception of public security features on euro banknotes; a qualitative study on confidence and authenticity. *IBDA INSIGHT*, vol. 13, 53–55 [in English].
3. Van Renesse, R. L. (2005). *Optical document security*. Artech House [in English].
4. (2014). Banknotes: under- or over-featured? *Infosecura Banknote Printing*, 62, 6–9. Retrieved from <https://www.securityprinters.org/dwl/Infosecura62.pdf> [in English].
5. Bender, K. W. (2006). *Moneymakers. The secret world of banknote printing*. Wiley–VCH [in English].
6. Treinen, H. (2005). Research endorses the value of two-sided intaglio. *Currency News*, vol. 3(2), 10–11 [in English].
7. Kyrychok, T. & Kyrychok, P. & Havenko, S. & Kibirskitis, E. & Miliūnas, V. (2014). The influence of pressure during intaglio printing on banknotes durability [Slegio itaka banknotu patvarumui spausdinant giliaspaude]. *Mechanika*, vol. 20, 3, 327–331 [in English].
8. Deinhammer, H. & Loos, F. & Schwarzbach, D. & Fajmann, P. (2004). Direct laser engraving of intaglio printing plates. *Proc. SPIE 5310, Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V*, June 3, 2004. Retrieved from <https://doi.org/10.1117/12.526899> [in English].
9. Deinhammer, H. & Schwarzbach, D. & Kefeder, R. & Fajmann, P. (2006). The implication of direct laser engraved intaglio plates on banknote security. *Proc. SPIE 6075, Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI*, February 9, 2006. Retrieved from <http://doi.org/10.1117/12.643902> [in English].
10. Kyrychok, T. Yu. (2014). *Znosostiikist banknotnoj produktsii [Wear resistance of banknote products]*. Kyiv: NTUU 'KPI' [in Ukrainian].
11. Kyrychok, T. Yu. & Bahlai, V. A. (2019). Systema formuvannya tyrazhostiikosti form intahliodruku [System of Intaglio Plate Run-Length Creation]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(65), 15–24. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(65\).2019.196565](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565) [in Ukrainian].
12. ISO 14577-1:2015. *Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. – Part 1: Test method* [in English].
13. National standards of Ukraine. (2010). *DSTU 7175:2010 Metaly i splavy. Metody metalohrafichnoho kontroliuvannia. Terminy ta vyznachennia poniat [Metals and alloys. Methods of metallographic control. Terms and definitions]*. ISO/CD TR 20580 [in Ukrainian].
14. ISO 4287:1997. *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters* [in English].
15. Maidaniuk, S. V. & Plivak, O. A. (2016). Modul vymiriuvannia syl rizannia [Cutting force measurement module]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy 'Kyivskyi politekhnichniy instytut'. Serii: Mashynobuduvannia*, 2, 15–22. Retrieved from https://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_mash_2016_2_4 [in Ukrainian].



The article presents the results of research of the parameters of the profile of the engraved strokes. These strokes differed in the designed profile and were obtained by direct laser engraving. The study by optical metallography sections of engraved strokes showed that all engraved strokes of the sample have deviations from the specified geometric profile (slope of the stroke wall 90° decreases to 60° – 75°), are asymmetric, protective PVD (Plate Vapour Deposition) coating has insufficient adhesion to the base material.

Keywords: intaglio printing; direct laser engraving; engraved strokes; profilogram; circulation resistance.

Рецензент — В. М. Скиба, канд. техн. наук,
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції 11.09.20