

УДК 658.788.4+77.026.361

ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОПОГРАФІЇ ПОВЕРХНІ ДРУКАРСЬКИХ ВІДБИТКІВ ТА ЕПОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ОБ'ЄМНИХ ЕТИКЕТКАХ

С. Ф. Гавенко, С. В. Шелудько

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

Наведено результати електронно-мікроскопічних досліджень топографії поверхні друкарських відбитків, отриманих на широкоформатному плотері Epson SureColor SC-S70610 та друкарській машині HP Indigo з використанням плівок ORACAL 640 і RITRAMA 145 та епоксидних покриттів на об'ємних етикетках.

Ключові слова: *об'ємне полімерне покриття, епоксидна смола, кут зволоження, поверхневий натяг, етикетка.*

Постановка проблеми. Етикетка — це своєрідна друкована продукція, яка містить текстову або графічну інформацію, виконана у вигляді наклейки або бірки на будь-який продукт виробництва. На етикетці зазначають назву товару (або виробу), торгову марку виробника, дату виробництва, термін придатності продукту та іншу важливу для споживача інформацію. Крім того, етикетки виконують захисну функцію, а саме: запобігають фальсифікації продукції; фіксують порушення цілості пакування; містять інформацію про сертифікацію та включення товару в облікові системи (наприклад, акцизні марки). За етикеткою часом ідентифікують товари. [1, 2].

Етикетки класифікують за найрізноманітнішими критеріями: матеріали для виготовлення (натуральні, синтетичні); технології виготовлення; дизайнерські рішення (художньо-графічне оформлення, форма конструкції, поліграфічне оздоблення); функціональне призначення (просування товару на ринку); особливості кріплення на товарі чи пакуванні тощо. За основними способами нанесення етикеток на вироби їх можна поділити на: самоприклеювальні; сухі, що потребують застосування клею для маркування продукції; етикетки, виготовлені за технологією In-Mold Labeling (IML), які взаємно припаюються з виробом; термозбіжні етикетки, які щільно обтягують поверхню виробу будь-якої форми і матеріалу та мають високі захисні властивості (захист від УФ-променів чи від підробки). Аналіз технологій виготовлення етикеток на українському ринку показує, що 48 % припадає на флексографічний друк; 33 % — офсетний; 9 % — трафаретний; 7 % — цифровий і 3 % — глибокий [3]. Як бачимо, значну частку етикеток сьогодні виготовляють цифровим друком. Це зумовлено його оперативністю, високою якістю та наявністю відповідного устаткування у сучасних виробників. Саме цифровий друк рекомендують виробники для виготовлення об'ємної етикетки або «ре-

зінати» («залита смолою»). Розгляньмо структурну будову об'ємних етикеток, які набувають сьогодні широкого розвитку. Об'ємна етикетка-наклейка складається з підкладки, клейового шару, ПВХ-плівки, надрукованого зображення, полімерного покриття (рис. 1).

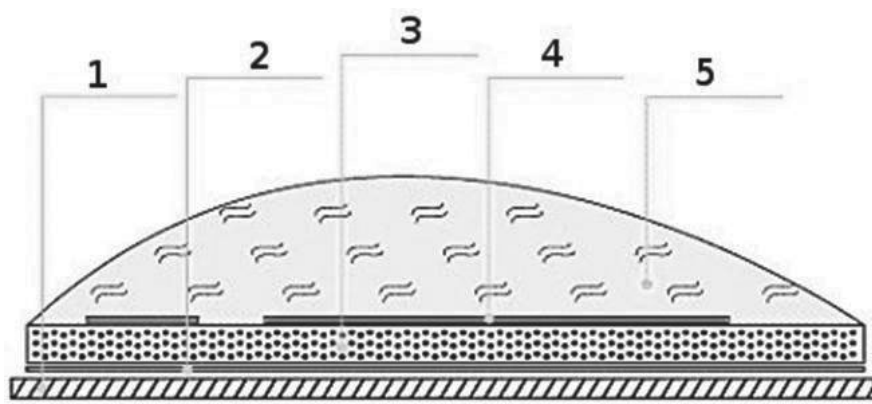


Рис. 1. Структура об'ємної етикетки-наклейки (1 — підкладка-основа; 2 — клейовий шар; 3 — ПВХ-плівка; 4 — надруковане повноколірне зображення; 5 — полімерна композиція на основі епоксидної смоли)

Об'ємні етикетки-наклейки мають хороші естетичні властивості. Епоксидна або поліуретанова композиція, яку наносять на відбиток етикетки, утворює після застигання своєрідну лінзу. Завдяки своїм оптичним властивостям вона візуально збільшує зображення на відбитку, впливає на читабельність текстів, підвищує контрастність, привертаючи до себе увагу споживачів. Окрім того, полімерне покриття етикеток захищає їх від подряпин, стирання, хімічних впливів, УФ-випромінювання, що забезпечує їм високі експлуатаційні властивості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз проведених наукових досліджень показав, що якість об'ємної етикетки великою мірою залежить від топографії поверхні відбитка етикетки, фізико-механічних характеристик її складових елементів, які науковці досі ґрунтовно не вивчали [4, 5].

Мета статті — дослідити на електронно-мікроскопічному рівні структуру поверхні друкарських відбитків, отриманих цифровим способом друку на ПВХ-плівках, а також топографію утвореного об'ємного епоксидного покриття на етикетці.

Об'єктом дослідження були етикетки, надруковані на широкоформатному плотері Epson Sure Color SC-S70610 на плівках RITRAMA 145 та машині HP Indigo з використанням плівок ORACAL 640 на самоприклеювальній основі, поверхні яких були залиті епоксидною смолою із затверджувачем фірми MТВJZJ MТВ-8000/7700 (тверда смола) та MТВ-3800/9213 (м'яка смола) з розрахунком витрат 0,18–0,22 г смоли на 1 см² поверхні етикетки (рис. 2).

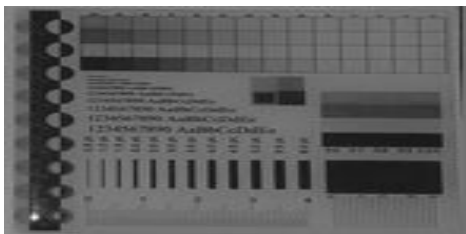


Рис. 2. Об'єкт дослідження

Фізико-механічні властивості ПВХ-плівок на самоприклеювальному папері визначали на еластомірі конструкції професора Я. І. Чехмана за відомою методикою. За допомогою еластоміра визначали абсолютну деформацію (Δb) під навантаженнями $\sigma = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ і 4 МПа. Цим навантаженням відповідають шайби з відповідною масою. За відомою формулою знаходимо відносну деформацію. Розтягуванню підлягали зрізки з робочою ділянкою 100×30 мм і швидкістю 1 мм за секунду, за середніми значеннями будували діаграму розтягу.

Для дослідження структури поверхні плівок ORACAL і епоксидних покриттів на них використано вимірювальну установку AniCam фірми TROIKA Systems Limited, яка оснащена 24-бітовою кольоровою камерою з роздільністю 640×480 пікселів і полем зору від $1,25 \times 0,92$ мм. Прилад оснащений двома джерелами світла (рис. 3). Тривимірне зображення структури поверхні отримано з аналізу цифрових фотографій поверхні полімерного покриття і друкованої відбитка. Точність вимірів становить $\pm 1\%$.

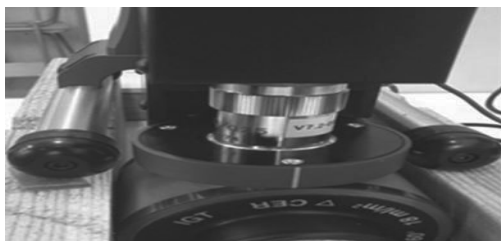


Рис. 3. Вимірювання структури профілю поверхні апаратом AniCam

Для визначення товщини епоксидного покриття було використано два види фрагментів зображень: збільшення $4x$ для аналізу в програмі FlexoPlate QC v8.4 і збільшення $10x$ для аналізу в програмі Anilox QC v8.4. Об'єкти були спрямовані так, щоб можна було побачити різницю висоти покриття і задрукованої ПВХ-плівки.

Напівтонкі зрізи полімерної лінзи досліджували у світловому мікроскопі БІОЛАМ із збільшенням об'єктива $x90$, а фотографували їх за допомогою дзеркальної цифрової камери Olympus E520 з розміром зображення 10 мегапікселів. Ультратонкі зрізи вивчали в електронному трансмісійному мікроскопі SELMI ПЭМ-100-01. Для досліджень використовують кратність збільшення $x2000$ – $x30000$.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, структура поверхні друкованих відбитків суттєво впливає на їх якість. Тому можна допустити, що деякий вплив на якість об'ємної етикетки має також топографія поверхні ПВХ-плівки. Розгляньмо характеристики плівок, на яких друкувались етикетки. Плівки ORACAL і RITRAMA — це еластичні мономерні каландровані ПВХ-плівки. Плівка RITRAMA має значно більші, ніж ORACAL, внутрішні залишкові напруження, через які дає значну усадку (більше як 0,4 мм за стандартом FINAT ТМ 14) під час наклеювання на круглі поверхні. Плівка ORACAL на звороті має силіконову поверхню. Товщина плівки ORACAL з клейовим шаром становить 95 мкм, а плівки RITRAMA — 85 мкм. Товщина плівки має велике значення, якщо використовувати сольвентні чорнила. Річ у тім, що чорнила можуть взаємодіяти з вінілом, частково розчиняючись у ньому. Адгезія клейового шару для плівки ORACAL становить 640 Н/м, а для плівки RITRAMA — 360 Н/м.

Механічні властивості плівок також треба враховувати під час їхньої експлуатації. Типова діаграма деформацій для пластичних матеріалів містить чотири ділянки: пружних зворотних деформацій; початку незворотних деформацій, коли матеріал протидіє навантаженням; пластичних деформацій, коли спостерігається текучість; утворення так званої «шийки» на зразці, яка відповідає невеликому зміцненню матеріалу і його руйнуванню. На основі досліджень побудовано діаграму залежності лінійної деформації ϵ від напруження σ (рис. 4).

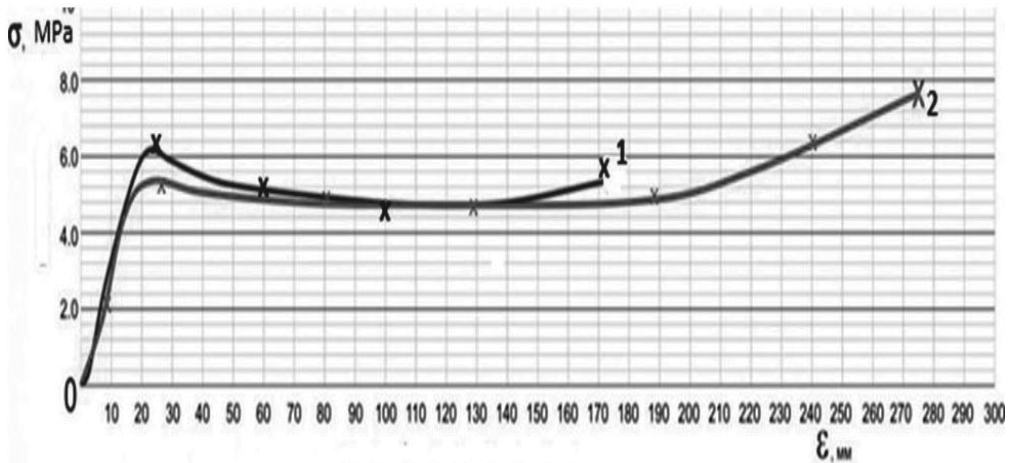


Рис. 4. Залежність лінійної деформації ϵ від напруження σ для досліджуваних матеріалів (1 — плівка ORACAL-640; 2 — плівка RITRAMA-145)

На ділянці пружних і пластичних деформацій досліджувані плівки поведуться подібно. Це підтверджує, що вініл, який використовують для виготовлення самоприклеювальних матеріалів, є ідентичний. Плівка RITRAMA-145 здатна витримувати більші напруження, а отже, стійкіша до руйнування в 1,5 раза, ніж ORACAL.

Розривне зусилля для плівки ORACAL згідно з (DIN EN ISO 527) становить 19 МПа (min) і 30,6 МПа (max) у поздовжньому і поперечному напрямках; видовження при розриві згідно з (DIN EN ISO 527) у поздовжньому напрямі — min 130 %, поперечному напрямі — min 170 % для плівки ORACAL і 275 % для плівки RITRAMA-145.

Задруковані поверхні плівок поводяться дещо по-іншому. Міцнісні властивості плівок зменшуються. До прикладу, розривне зусилля ϵ для плівки ORACAL з 6,4 МПа спадає до 5,7 МПа, а для плівки RITRAMA-145 ϵ зменшилося від 5,4 до 4,6 МПа. Це, очевидно, зумовлено значним впливом сольвентних чорнил на адгезійні властивості плівок.

Відомо, що ПВХ-плівки типу ORACAL та RITRAMA мають свою структуру. Спеціальна будова плівок забезпечує ідеальну гладкість поверхні і водостійкість матеріалу. Від рельєфності поверхні відбитка залежить якість утвореної лінзи та етикетки загалом. На рис. 5 зображено профіль структури друкованого відбитка етикетки на плівці ORACAL та його 3D-зображення, виконані на приладі AniCam.

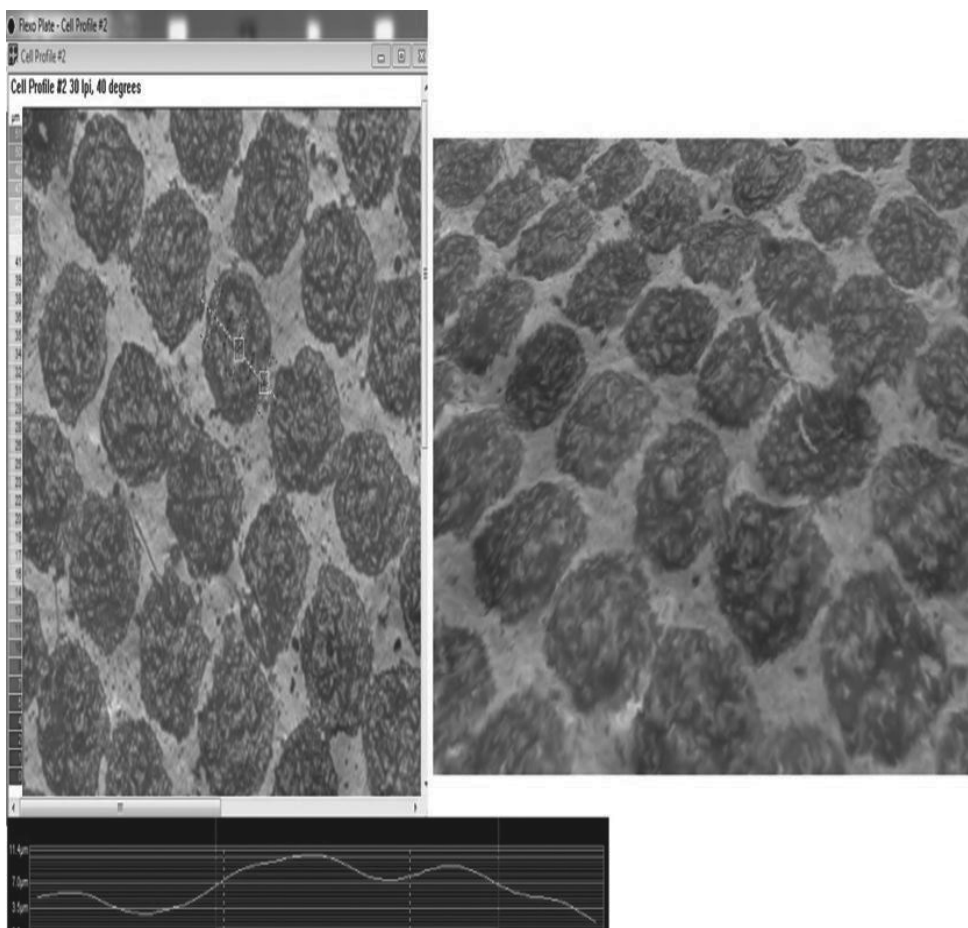


Рис. 5. Профіль структури друкованого відбитка етикетки та її 3D-зображення, отриманого на машині Indigo 3050 з використанням ПВХ-плівок ORACAL 640

Аналіз результатів показав, що шорсткість поверхні відбитка така: $R_a = 0,50 \mu\text{m}$, $R_z = 2,91 \mu\text{m}$, $R_t = 3,96 \mu\text{m}$ (мах. стандартне відхилення становить $0,34 \mu\text{m}$). Отже, що більша шорсткість поверхні відбитка, то якісніше формування полімерної лінзочки на відбитку.

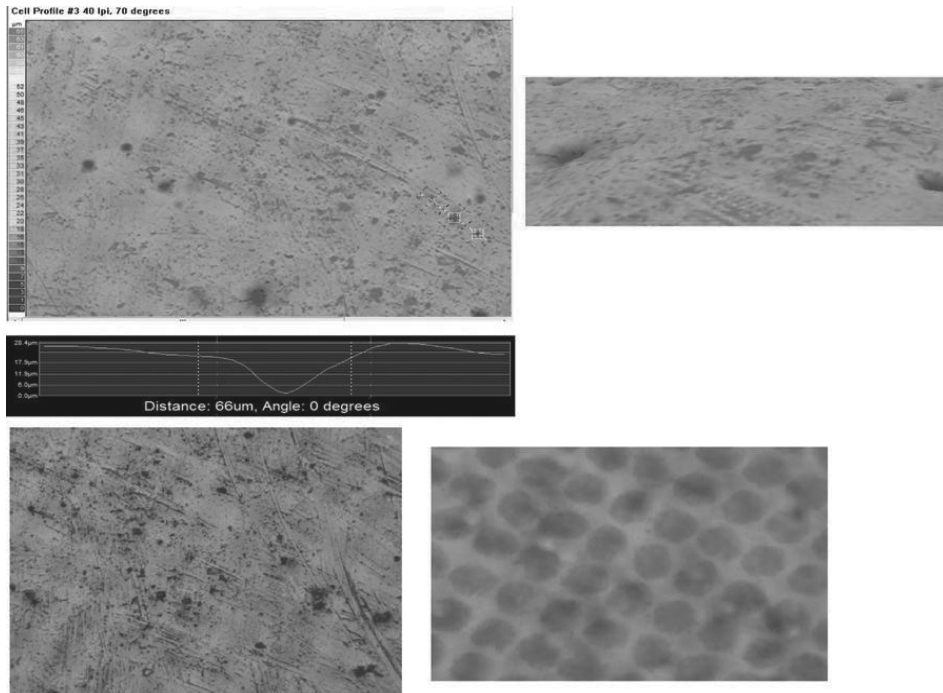


Рис. 6. Профіль структури об'ємної етикетки та її 3D-зображення, отриманого на машині Indigo 3050 з використанням ПВХ-плівок ORACAL 640 (м'яка смола)

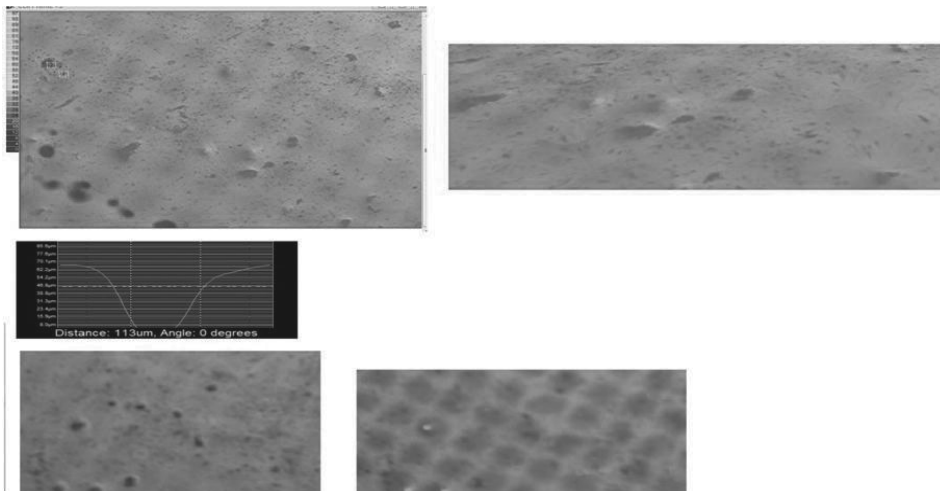


Рис. 7. Профіль структури об'ємної етикетки та її 3D-зображення, отриманого на машині Indigo 3050 з використанням ПВХ-плівок ORACAL 640 (тверда смола)

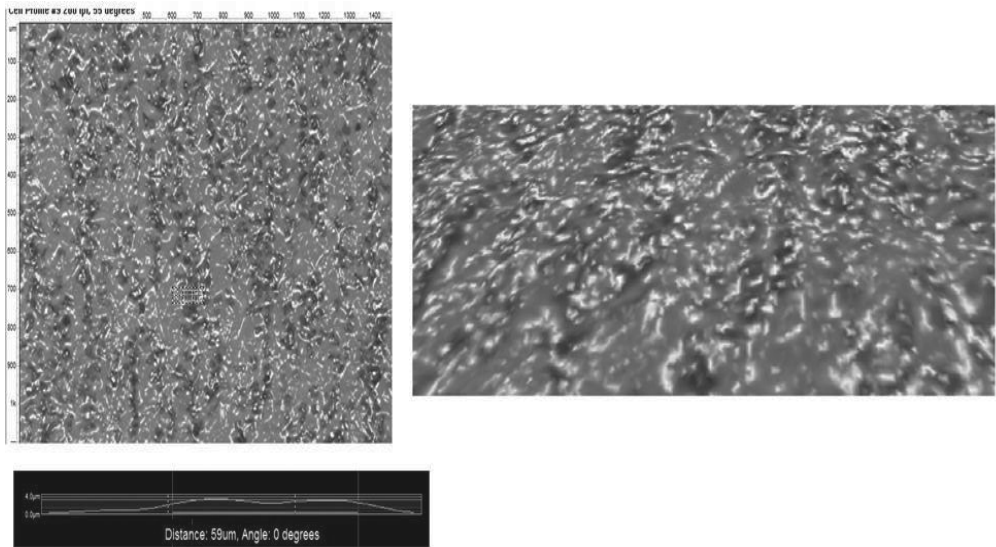


Рис. 8. 3D-зображення та профіль структури друкованого відбитка етикетки, отриманого на плотері Epson Sure Color SC-S70610 на ПВХ-плівці RITRAMA-145

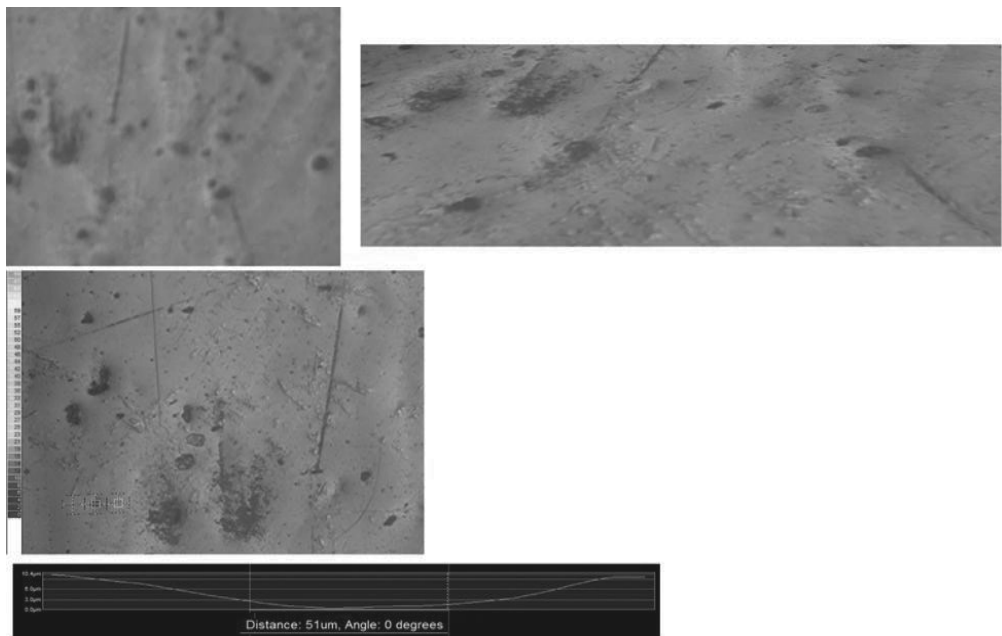


Рис. 9. Топографія структури об'ємної етикетки, її профіль та 3D-зображення, отриманого на плотері Epson Sure Color SC-S70610 з використанням ПВХ-плівок RITRAMA-145 (тверда смола)

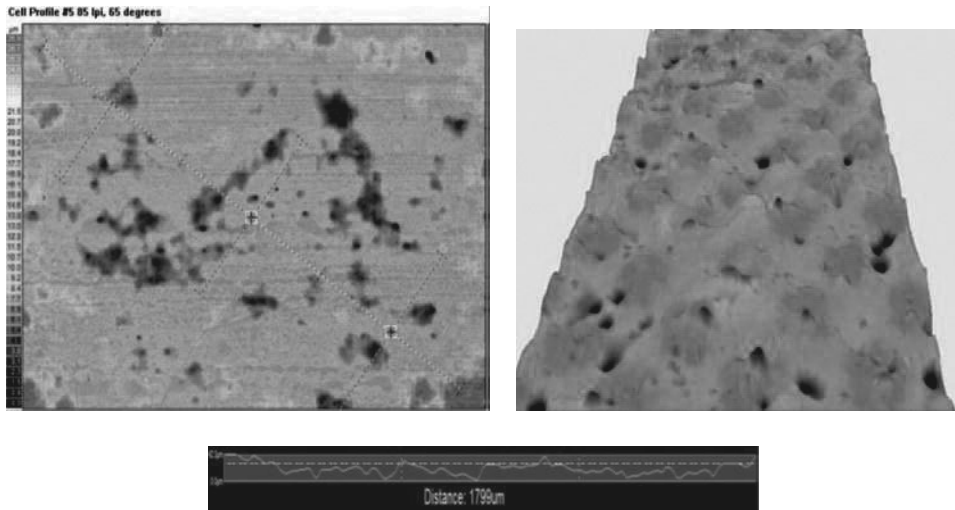


Рис. 10. Топографія структури об'ємної етикетки, профіль та її 3D зображення, отримане на плотері Epson Sure Color SC-S70610 з використанням ПВХ-плівок RITRAMA-145 (м'яка смола)

Дослідження показали, що на відбитках, залежно від місця виміру, спостерігається різна шорсткість. Результати досліджень топографії відбитків на плівці ORACAL 640 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Якісні та кількісні показники топографій поверхонь ORACAL і RITRAMA

відбитки на плівках	Ra, мкм	Rz, мкм	Spіk, мкм ²	Свп, мкм ²
ORACAL	1.46	7.62	1080	1064
RITRAMA	0,58	2.24	902	916
Епоксидні покриття				
на плівці ORACAL				
(м'яка смола)	5,42	6.82	570	696
(тверда смола)	6.54	7.20	653	580
на плівці RITRAMA				
(м'яка смола)	5.48	6.76	568	698
(тверда смола)	6.52	7.19	656	576

Як показують результати досліджень, поверхня відбитків має неоднакову шорсткість. Наприклад, у відбитків, отриманих на плотері на плівках RITRAMA

параметр шорсткості R_a зменшується у 2,5 раза порівняно з відбитками на плівках ORACAL. Це свідчить про те, що на відбитках, отриманих на плотері, спостерігається більш тонка високорозвинена мікро-і субмікроструктура поверхні, утворена сольвентними чорнилами, що підтверджують фотографії електронної мікроскопії (рис. 11). Вибір параметрів шорсткості епоксидних покриттів на відбитках залежить від того, м'яку чи тверду смолу використовують для утворення лінзи. До речі, практично не відчутна різниця показників R_a і R_z залежно від типу ПВХ-плівок.

Дослідження топографії поверхні об'ємної етикетки та її 3D-профілю на межі «відбиток на плівці — епоксидне покриття» показали, що різниця мікронерівностей між найвищим і найнижчим піком для відбитків на плівках ORACAL коливається в межах $16\ \mu\text{m}$, а для плівок RITRAMA — $14\ \mu\text{m}$. Товщина полімерного покриття на етикетках становила $0.91\text{--}1.66\ \text{mm}$ (рис. 11), і $0.77\text{--}1.61\ \text{mm}$ (рис.12) за товщини оригіналу $0,24\ \text{mm}$.

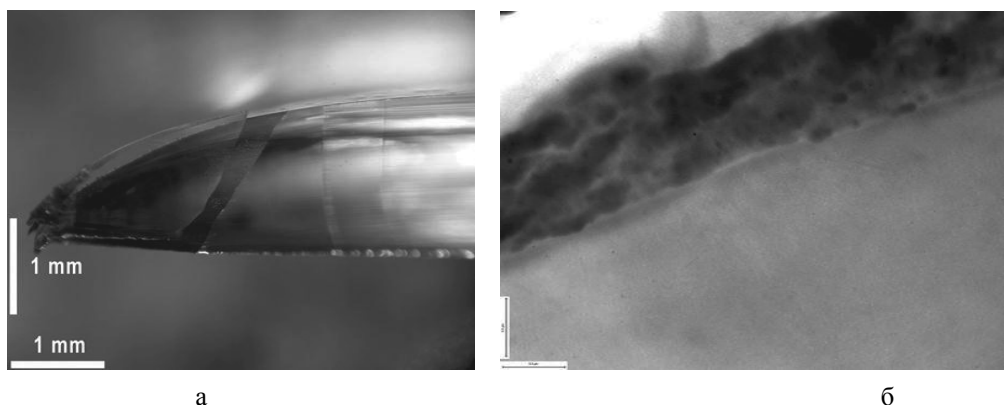


Рис. 11. Оптична (а) та електронна (б) мікроскопія епоксидного покриття на поверхні етикетки на плівці ORACAL, утворених твердою смолою (зб. 12000х)

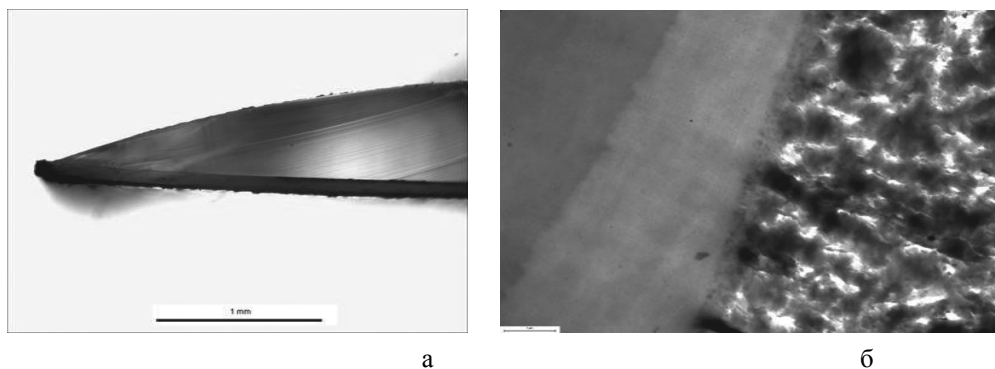


Рис. 12. Оптична (а) та електронна (б) мікроскопія епоксидного покриття на поверхні етикетки на плівці ORACAL, утворених м'якою смолою (зб. 12000х)

Отже, завдання мікроскопічних досліджень полягають у виявленні багатограничних зв'язків між властивостями та структурою матеріалів із встановленням оптимальних наноструктур, які тісно пов'язані з технологією їх виготовлення та використанням. Як показав аналіз мікрофотографій, за повного затвердіння епоксидного покриття спостерігається явище об'ємної усадки етикетки, що сприяє стягуванню адгезиву і субстрату. Що більша пористість ПВХ-плівки і менша в'язкість покриття, то більшою повинна бути міцність з'єднання лінзи з підкладкою. Електронно-мікроскопічні дослідження показують, що глибше проникнення епоксидного покриття в структуру відбитка, взаємодіючи з фарбовим шаром, часто сприяє появі мікропор, неоднорідності утвореної лінзи, що знижує її якість.

Висновки. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що якість сформованої епоксидної лінзочки на відбитку етикетки визначає структура фарбового шару відбитка, топографія та морфологія самого покриття. Сьогодні бракує ґрунтовних досліджень на нанорівні, щоб спрогнозувати термін експлуатації етикетки, забезпечуючи її міцність та довговічність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Объемные наклейки (изготовление этикеток, залитых смолой). Полимерные наклейки [Электронный ресурс] : материалы сайта Нола Плюс / [б/а]. — Режим доступа : <http://www.nolaplus.ru/cd/31>.
2. Обзор мирового рынка самоклеющейся этикетки [Электронный ресурс] / [б/а] // Центр КТ. Все для маркировки [24.09.2013]. — Режим доступа : <http://markerovka.ru/state/>.
3. Объемные этикетки, наклейки, стикеры [Электронный ресурс] : материалы фирмы Легион 21 : производство самоклеящихся этикеток / [б/а]. — Режим доступа : <http://www.legion21.kz/Obemnie-etiketki-nakleiki-stikeri>.
4. Шелудько С. В. Вплив товщини полімерного покриття об'ємної етикетки на її якісні характеристики кольорового зображення / С. В. Шелудько // Квалілогія книги. — 2013. — №1. — С. 41–47.
5. Языева С. Б. Исследование взаимодействия компонентов резинаты эпоксидной смолы и виниловой подложки в стакере / С. Б. Языева, Г. М. Данилова-Волковская // Сборник научных трудов молодых учёных. — КБГУ : Нальчик, 2006. — С. 295–297.
6. Уикли Б. С. Электронная микроскопия для начинающих / Б. С. Уикли ; Пер. с англ. — М. : Мир, 1975. — 338 с.
7. Гоулдстейн Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ : в 2-х кн. / Дж. Гоулдстейн ; Пер. с англ. — М. : Мир, 1984. — 303 с.
8. Электронная микроскопия : учеб. пособ. / А. И. Власов, К. А. Елсуков, И. А. Косолапов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 168 с.
9. Методы анализа поверхностей / Под ред. А. Задерны. — М. : Мир, 1979.
10. Серия «Methods of Experimental Physics» // Edited by Pobert L. Park and Max G. Lagally, AcademicPress / Solid State Physics:Surfaces. — 1985. — V. 22.

**ELECTRONIC AND MICROSCOPIC RESEARCH OF SURFACE
TOPOGRAPHY OF IMPRINTS AND EPOXY COATINGS
ON VOLUMINOUS LABELS**

S. F. Havenko, S. V. Sheludko

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

The paper shows the results of electronic and microscopic studies of the surface topography of imprints obtained on the large-format plotter Epson Sure Color SC-S70610 and the printing press HP Indigo using the films ORACAL 640 and RITRAMA 145 and epoxy coatings on voluminous labels.

Keywords: *voluminous polymer coating, epoxy resin, wetting angle, surface tension, label.*

Стаття надійшла до редакції 03.03.2016.