

УДК 681.5 017.004

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЯВЛЕННЯ МАГНІТНОЮ ЩІТКОЮ В ЕЛЕКТРОФОТОГРАФІЇ

Т. С. Голубник, Л. Я. Маїк, М. М. Дубневич, Н. С. Снігур

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

Розкрито суть процесу проявлення в електрофотографії. Обрано один із способів сухого проявлення порошком, а саме магнітною щіткою. Доведено, що зростання електричного поля, що переміщує тонер, призводить до інтенсифікації проявлення. На основі проведеного дослідження визначено, як осідає тонер при всіх потенціалах фоторецептора, обраних з різною провідністю магнітних та діелектричної щіток.

Ключові слова: електрофотографія, приховане електростатичне зображення, магнітна щітка, проявлення, тонер.

Постановка проблеми. В електрофотографії проявлення полягає в осіданні зарядженого тонера на приховане електростатичне зображення (ПЕЗ) силами електричного поля. Найпоширеніше сухе проявлення, яке має кілька різновидів. До них належить проявлення магнітною щіткою з двокомпонентного проявника, проявлення однокомпонентним магнітним проявником, проявлення однокомпонентним немагнітним проявником, гібридне неруйнуюче проявлення.

У сучасних електрофотографічних копіювальних апаратах широко використовується спосіб двокомпонентного проявлення магнітною щіткою. Спосіб магнітної щітки застосовують зазвичай під час проявлення фотопровідних паперів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Цифровий друк належить до різновидів сучасних безформних способів друку. Вони входять до репрографічної групи нетрадиційних засобів копіювання та розмноження оригіналів. Одним із них є електрофотографія [1]. Основне застосування в електрофотографічному друкарському обладнанні має процес із сухим проявленням діелектричним тонером [2].

Однак в апаратурі цифрового друку загалом використовується проявлення методом магнітної щітки. Цей метод заснований на доставці частинок тонера в зону проявлення із застосуванням сил магнітного поля.

Мета статті. Проявлення зображення може здійснюватися різними способами: каскадним; хутряною щіткою; магнітною щіткою; порошковою хмарою (сухі способи); зануренням зображення в рідкий проявник або обприскуванням рідкого проявника (мокрі способи). Дослідження полягає у визначенні маси тонера, що переноситься на одиницю площі фоторецептора. На основі обраних діелектричної магнітної щітки та магнітних щіток з різною провідністю і різними «потенціалами

пробою» довести залежність поверхневої густини проявленого тонера від величини потенціалу пробою.

Виклад основного матеріалу дослідження. В електрофотографії запис зображення проводиться на заземленому і зарядженому фоторецепторі. Фоторецептор складається з провідної підкладки і тонкого шару фотопровідника. Оскільки фоторецептори заряджають до високих потенціалів (наприклад, 600 В), фотопровідник повинен мати в темряві високий електричний опір. Під час опромінення активним світлом на фотопровіднику утворюються вільні носії заряду, і він набуває електропровідних властивостей. На освітлених ділянках відбувається фоторозрядка (нейтралізація поверхневого заряду), і поверхневий заряд залишається тільки там, куди світло не падало. Заряд утворює на поверхні фоторецептора ПЕЗ.

Як відомо, для проявлення може бути використаний або просто тонер (однокомпонентний проявник), або двокомпонентний проявник, в якому тонер перебуває на частинках носія.

Магнітна щітка утворюється навколо постійних магнітів. Частинки проявника, що мають магнітні властивості, захоплюються магнітним полем і розташовуються уздовж його силових ліній. Магніт утримує феромагнітний носій, кожна частка якого несе на собі тонер. Вся система в роботі нагадує щітку. В апараті, проходячи зону проявлення, щітка руйнується, а після поновлення носія свіжим тонером — формується знову. Для електростатичного контрасту ПЕЗ приблизно 250 В стандартна якість проявлення забезпечується при концентрації тонера в проявнику (4–5 %). Подачею потенціалу зміщення на магнітний валик можна регулювати як оптичну щільність зображення, так і величину фону.

Центром вузла магнітної щітки (рис. 1) є магнітний валик проявлення. Він складається з магнітного стержня 1 і немагнітного металевго рукава (циліндр проявлення, який обертається) 2. Магнітний стержень формує магнітне поле валика. Частинки проявника, потрапляючи в це поле, розташовуються уздовж його силових ліній. Навколо валика проявлення утворюється магнітна щітка (щітка зі щетинками з частинок проявника).

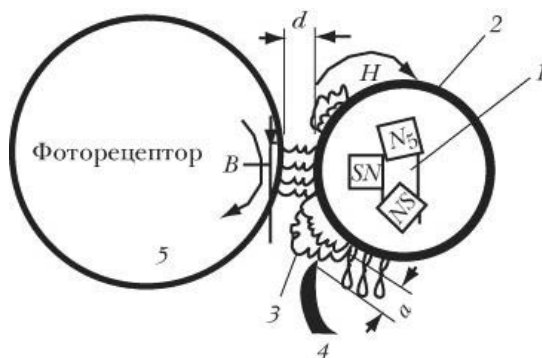


Рис. 1. Вузол магнітної щітки: 1 — стержень з магнітами; 2 — циліндр проявлення; 3 — магнітна щітка; 4 — дозуючий ракульний ніж; 5 — фоторецептор; а — довжина щетинок магнітної щітки; б — ширина зони контакту щітки з фоторецептором

Магнітна щітка утворюється частинками двокомпонентного проявника навколо полюса постійного магніту. Проявник складається з суміші часток феромагнітного матеріалу, наприклад ошурки з пігментованими частками смоли, які при отриманні суміші різнойменно електризуються. Магнітну щітку переміщують уздовж поверхні, що утворює електростатичне зображення, на елементах якого осідають частинки пофарбованої смоли, що містять протилежний заряд.

Магнітний стержень може бути нерухомим або обертатися, але з іншою швидкістю або в іншому напрямку, ніж циліндр проявлення. Магніти, витягнуті уздовж осі валика, розташовані послідовно, тобто з чергуванням різнойменних полюсів, тому щетинки на різних ділянках проявляючого циліндра займають різне положення. У полюсів вони стоять, а між полюсами майже лежать на поверхні. Магнітне поле пронизує немагнітний металевий циліндр, тому проявник, притягуючи магнітним стержнем валика, притискається до циліндра. Оскільки циліндр і стержень з магнітами мають різні швидкості обертання, проявник ковзає по циліндру, але захоплюється ним в зону проявлення завдяки притиску проявника до валика і рифленої поверхні циліндра. Кожна ділянка циліндра проявлення послідовно проходить різні ділянки магнітного поля, тому щетинки з проявника постійно змінюють своє положення. Це призводить до перемішування проявника і рівномірного проявлення. Біля входу магнітної щітки в зону проявлення її щетинки обрізаються ракульним ножом до необхідної довжини (щітка має ковзати по фоторецепторі, але не дряпати його). У зоні проявлення тонер відчуває вплив електричного поля, утвореного прихованим зображенням і валиком проявлення. Частина тонера з частинок носія переходить на фоторецептор, а частина залишається на носії. Після виходу із зони проявлення щітка, яка втратила тонер, знімається з поверхні циліндра, а до валика притягується свіжий проявник. Проявник, у якому уже немає тонера, перемішується з новим тонером і знову повертається в роботу.

Частинки двокомпонентних проявників, які використовуються на практиці, розрізняють за електричною провідністю. Якщо частинки носія, що входять в проявник, не проводять електричний струм, — це діелектрична магнітна щітка. Сьогодні дедалі ширше використовують провідну магнітну щітку, причому провідність щітки може бути різною [3]. На результати проявлення впливають параметри вузла магнітної щітки:

- перед входом в зону проявлення розташовується ракульний ніж, який обрізає щетинки щітки, у такий спосіб дозуючи кількість проявника, що подається в зону проявлення. Довжина щетинок залежить від величини зазору між фоторецептором і валиком проявлення;
- геометричними параметрами вузла є величина зазору між валиком проявлення і фоторецептором d , ширина зони контакту щітки з фоторецептором b і довжина зони контакту.

У діелектричній магнітній щітці електрод проявлення обмежується поверхнею металевого рукава валика проявлення, а зазор заповнений проявником з діелектричною провідністю ε_d .

Напруженість електричного поля над суцільними ділянками зображення з потенціалом V відповідно до формули:

$$E_{np} = \frac{V - V_{zm}}{d}, \quad (1)$$

де V_{zm} — валик проявлення заряджається до певного потенціалу, який називається потенціалом зміщення.

Зростання електричного поля, що переміщує тонер, призводить до інтенсифікації проявлення.

Маса тонера, що переноситься на одиницю площі фоторецептора (поверхнева щільність тонера, що осідає), може бути визначена за формулою [2]:

$$C_T = \frac{M}{S} = n \times m_T \times \frac{\rho v}{\pi R^2}, \quad (2)$$

де C_T — поверхнева щільність проявленого тонера; m_T — маса частинок тонера;

n — число частинок тонера з однієї частинки проявника; $\frac{\pi R^2}{\rho v}$ — площа, яку займає

частинка проявника; ρ — щільність складання поверхні фоторецептора проявником (за даними праці [4], вона дорівнює 0,91); v — відношення лінійних швидко-

стей валика проявлення і фоторецептора дорівнює $v = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$ (V_{np} — швидкість валика

проявлення і V_{ϕ} — швидкість фоторецептора).

Вираз (2) для поверхневої густини проявленого тонера ($г / м^2$) виглядає так:

$$C_T = \frac{M}{S} = \frac{V_{np}}{V_{\phi}} \times \frac{\rho m_T}{\pi R^2} \times \left[\frac{4\pi\epsilon_0 R^2}{\alpha_1 Q} \times E_{np} - A \right]. \quad (3)$$

З формули (3) видно, що C_T залежить від заряду частинки тонера, його взаємодії з носієм (константа α_1) і природи матеріалів (константа A).

Крім того, проявлення відбувається більш повно, оскільки з кожної частки носія йде більше тонера. Це можна пояснити так: у діелектричній щітці некомпенсований заряд частинки носія зростає в міру відходу з її поверхні тонера, і останні частинки тонера важче відірвати від носія, ніж перші. У провідній щітці цього немає. Позитивний заряд, що залишився після відриву перших частинок тонера, йде з частки носія по струмопровідній доріжці на валик проявлення, і носій розряджається.

У реальності провідність щетинок магнітної щітки виникає при досягненні деякого «потенціалу пробую» $V_{проб.}$ Для дослідження обрано магнітні щітки з різною провідністю 1 і 2 — провідна щітка, що має «потенціали пробую» 40 і 110 В, 3 і 4 — магнітна щітка з потенціалами пробую 330 і 750 В, 5 — діелектрична магнітна щітка [4]. Щільності тонера, що осідає на ПЕЗ, можна задавати в одиницях поверхневої щільності тонера $мг/см^2$. У табл. подано поверхневі густини проявленого тонера для 5 видів магнітної щітки з різною провідністю.

Поверхневі густини проявленого тонера з різною провідністю

V, В	Поверхневі густини проявленого тонера, мг/см ² провідної щітки з «потенціалом пробою»				Поверхневі густини проявленого тонера, мг/см ²
	40 В	110 В	330 В	750 В	Діелектрична провідна щітка
50	0,14	0,09	0,04	0,03	0,02
100	0,32	0,23	0,15	0,1	0,04
150	0,43	0,31	0,23	0,18	0,1
200	0,49	0,42	0,3	0,22	0,15
250	0,53	0,47	0,36	0,28	0,18
300	0,56	0,49	0,38	0,32	0,2
350	0,59	0,54	0,44	0,38	0,25
400	0,64	0,56	0,5	0,44	0,3

На рис. 2 наведені криві проявлення (графіки залежності поверхневої густини тонера, що осідає на фоторецептор m , від потенціалу поверхні фоторецептора, який має часткову провідність).

За величиною «потенціалу пробою», зазначеного для кожної кривої, можна проаналізувати, наскільки магнітна щітка проявлення має провідність і як це відзначається на кривій проявлення. Що вище потенціал пробою, то менше осідає тонер при всіх потенціалах фоторецептора, і нахил кривих проявлення зменшується.

З кривих, наведених на рис. 2, до провідної щітки належать щітки з потенціалом пробою 40 і 110 В. При використанні діелектричної щітки проявляється найменша кількість тонера (приблизно вдвічі менше, ніж в разі провідної щітки). Наведені криві довели, що діелектрична магнітна щітка має часткову провідність.

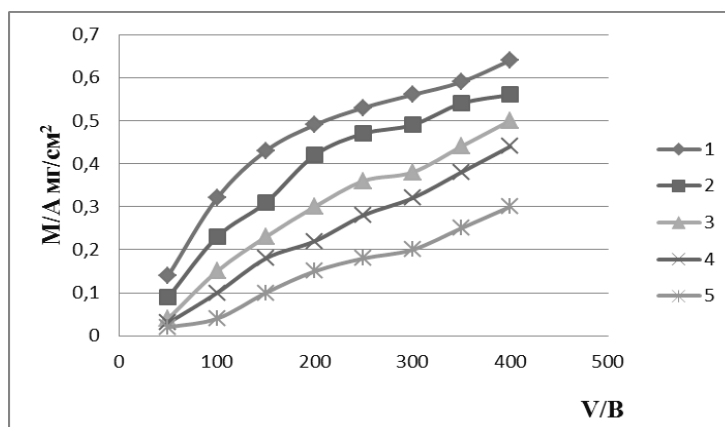


Рис. 2. Криві проявлення (залежність поверхневої густини проявленого тонера від величини потенціалу V) для магнітної щітки з різною провідністю:

1 і 2 — провідна щітка, що має «потенціали пробою» 40 і 110 В; 3 і 4 — магнітна щітка з потенціалами пробою 330 і 750 В; 5 — діелектрична магнітна щітка

При використанні провідної щітки електрод проявлення (валик з провідною частиною щетинок щітки) підходить близько до прихованого зображення, тому зменшується залежність напруги електричного поля від розміру елементів зображення. За однакових потенціалів прихованого зображення суцільні ділянки і штрихи проявляються до однакової оптичної щільності. Однак під час практичного використання провідної щітки стикаються з проблемою швидкого «старіння» носія. Відбувається це з таких причин: взаємне тертя частинок носія за їх неправильної форми призводить до прискореного стирання оболонки. Її діелектричні властивості погіршуються, і носій погано утримує тонер.

Висновки. Математично описано визначення маси тонера, що переноситься на одиницю площі фоторецептора. Проаналізовано, що обрані магнітні щітки проявлення відрізняються за показниками і як це відзначається на кривій проявлення. Що вище потенціал пробою, то менше осідає тонер при всіх потенціалах фоторецептора, і нахил кривих проявлення зменшується. Доведено, що діелектрична магнітна щітка має часткову провідність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електрофотографія. URL: <http://www.alkor-ru/about/publications/elektrofotografiya/>.
2. Ткаченко В. П., Манаков В. П., Шевчук А. В. Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, обладнання. Харків : ХНУРЕ, 2005. 336 с.
3. Ванников А. В., Уарова Р. М. Основы цифровой печати : учеб. пособ. Москва : Изд-во МГУП, 2009.
4. Schein B. Electrophotography and development physics. Laplacian Press. Morgan Hill. USA, 1996. 362 p.

REFERENCES

1. Elektrofotografii. Retrieved from <http://www.alkor-ru/about/publications/elektrofotografiya/> (in Ukrainian).
2. Tkachenko, V. P., Manakov, V. P., & Shevchuk, A. V. (2005). Operatyvni ta spetsialni vydy druku. Tekhnolohiia, obladnannia. Kharkiv : KhNURE (in Ukrainian).
3. Vannikov, A. V., & Uarova, R. M. (2009). Osnovy tsifrovoi pechaty. Moskva : Izd-vo MGUP (in Russian).
4. Schein, B. (1996). Electrophotography and development physics. Laplacian Press. Morgan Hill. USA (in English).

doi: 10.32403/2411-3611-2019-2-36-29-35

RESEARCH OF THE DEVELOPMENT PROCESS BY A MAGNETIC BRUSH IN ELECTROPHOTOGRAPHY

T. S. Holubnyk, L. Ya. Mayik, M. M. Dubnevych, N. S. Snigur

Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
golubnyk@ukr.net

Image development can be done in different ways: cascading; fur brush; magnetic brush; powder cloud (dry methods); dipping the image into a liquid developer or spraying a liquid developer (wet methods). The goal of the article is to determine the toner mass transferred per unit area of the photoreceptor. On the basis of the selected dielectric magnetic brush and magnetic brushes with different conductivity and different "breakdown potentials", the dependence of the surface density of the developed toner on the magnitude of the breakdown potential has been proved. By the magnitude of the "breakdown potential" indicated for each curve, it is possible to analyse how much the magnetic brush of development is and how it affects the curve of development. The higher the breakdown potential is, the less toner settles at all photoreceptor potentials. With the same potentials of the latent image, solid sections and strokes appear in the same optical density. However, in practical use of the leading brush, they face the problem of rapid "aging" of the carrier.

The essence of the development process in electrophotography has been revealed. One of the ways of dry development of powder, namely magnetic brush, has been chosen. It has been proved that the growth of the electric field that moves the toner leads to the intensification of development. Based on the study, the toner is deposited at all photoreceptor potentials selected with different conductivity of magnetic and dielectric magnetic brushes.

The determination of toner mass transferred per unit area of the photoreceptor has been mathematically described. The extent to which the magnetic brush of development has been analysed and how it is reflected in the curve of development has been analysed. The higher the breakdown potential is, the less the toner settles at all photoreceptor potentials, and the slope of the development curves decreases. It has been proved that the dielectric magnetic brush has partial conductivity.

Keywords: *electrophotography, hidden electrostatic image, magnetic brush, development, toner.*

Стаття надійшла до редакції 22.08.2019.

Received 22.08.2019.