

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ВІДБИТКА ПРИ ЕЛЕКТРОТРАФАРЕТНОМУ СПОСОБІ ДРУКУ

Аерозольний спосіб подавання порошку на друкарську форму застосовується в електротрафаретних машинах [5]. Щоб визначити закономірності при утворенні зображення, досліджували механізм осідання частинок зарядженого порошку на матеріал, який підлягає друкуванню. Дослідження проводилися на спеціальному пристрої з нормалізованими технологічними параметрами [6].

В утворенні зображення можуть брати участь частинки, які розміщені не тільки поблизу поверхні форми, але й ті, що розташовані від неї на будь-якій відстані.

У зв'язку з тим, що порошок в аерозолі агрегує, чарунки сітки друкарської форми забиваються, що заважає одержати якісне зображення без спеціальних засобів очищення.

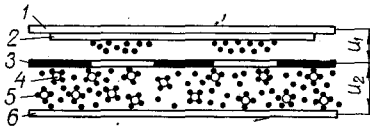


Рис. 1. Схема експерименту.

Щоб поліпшити очищення чарунків сітки, в аерозоль введено деяку кількість полістирольних кульок, які при терті та ударах об поверхню сітки з боку проходження аерозолю очищають чарунки. Закономірності утворення зображення розглядаються для аерозолю, до якого введено кульки з полістиролу.

Утворення зображення може бути спричинено тим, що заряджені частинки порошку осаджуються електричним полем з усього об'єму аерозолю, який рухається у повітроводі вздовж форми, або ці частинки спочатку осідають на нитках сітки, а потім збиваються з них кульками й підхоплюються електричним полем, яке сприяє осіданню порошку.

Для вивчення питомої ваги кожної з причин був досліджений процес утворення зображення через друкарську форму з провідникової сітки. Схема експерименту (рис. 1) дозволяла у широких межах змінювати потенціал кожного з електродів. Електрод 1 з матеріалом 2 (на якому друкують) перебуває під напругою U_1 , що подається між цим електродом та сіткою 3.

В об'єм між формою та електродом 6 введено полістирольні кульки 4 та порошок 5, які рухаються в аерозолі вздовж форми. Порошок осідає на сітці довгий час при напрузі $U = U_1 + U_2$ і нормальних технологічних параметрах системи, які сприяли одержанню великої кількості порошку на нитках.

Провідникова сітка 3 та електрод 6 перебувають під напругою U_2 , яка регулюється у широких межах.

Після того як порошок осів на сітці, він збивався чистими кульками, які пролітали в повітроводі, очищеному від порошку.

Збитий кульками з ниток порошок підхоплювався електричним полем U_1 , яке примушувало заряджені частинки осідати на відбитку. Результати дослідів (рис. 2, крива 1) показують, що одного тільки елек-

тричного поля недостатньо для утворення зображення з необхідною поверхневою густиною порошку $2 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$ [7].

Якщо друкувати без напруги, $U_1=0$, то порошокове зображення не утворюється і поверхнева густина не перевищує $0,17 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$.

Сумісна дія електричних полів U_1 й U_2 значно збільшує кількість порошку (рис. 2, крива 2) і дає змогу одержати відбиток з поверхневою густиною $2 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$.

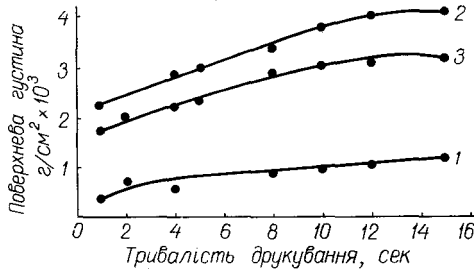


Рис. 2. Кінетика осідання порошку:

1 — вплив електричного поля; 2 — вплив сітки; 3 — сумісний вплив сітки й електричного поля.

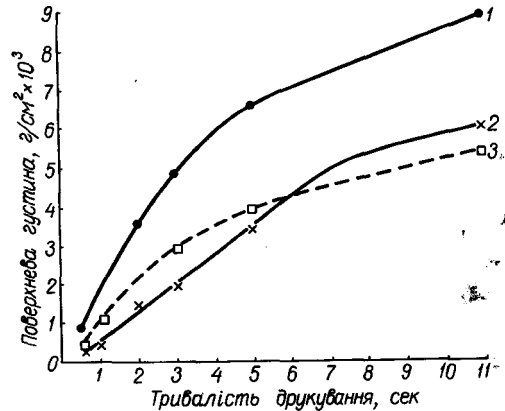


Рис. 3. Характеристика кінетики осідання порошку:

1 — теоретична; 2 — експериментальна; 3 — теоретична з поправочним коефіцієнтом ($V=10 \text{ см/сек}$; $E=5,5 \text{ кв/см}$; $h=0,005 \text{ см}$).

Щоб виключити з процесу друкування сітку форми, остання виготовляється вирізанням в ній такого ж отвору, як при друкуванні з сіткою. Відбиток, одержаний в умовах, які дорівнюють попереднім, має поверхневу густину до $1,8 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$ (рис. 2, крива 3), але його деформація у 12 разів вища, ніж при друкуванні з сіткою.

Таким чином, механізм осідання порошку, який подано на форму у вигляді аерозолу, можна собі уявити так. Найявність напруги при $U_2=0$ дає змогу осідати на відбиток тільки тим частинкам, які розміщені на нитках сітки. Коли напруга U_2 відрізняється від нуля, у цей процес вступають шари аерозолу, які містяться в об'ємі повітроводу під формою. Зростання цієї напруги зумовлює збільшення об'єму, з якого осідають частинки.

Сітка форми гальмує частинки порошку, які рухаються з цього об'єму повітроводу, а зниження швидкості сприяє осіданню їх на відбиток під впливом електричного поля.

Експериментальні дослідження кінетики осідання порошку відтворені на рис. 3, крива 2. Робились спроби також теоретично розрахувати кінетику осідання, керуючись такими припущеннями:

1. Вся кількість порошку, що пролетіла крізь відкриті чарунки сітки, осідає на матеріалі, який підлягає друкуванню, бо його повернення на сітку чи нагромадження у щілині неможливе.

2. Тривалість пролітання кожної з часток у щілині значно менша від загальної тривалості одержання нормального відбитку, що визначає кінетику осідання проходженням частинок порошку крізь відкриті чарунки.

3. Величина контактної-електричного заряду частинок залежить від площі контакту частинок під час електризації тертям з стінками друкарського апарату та при зіткненні частинок порошку одна з одною. Форма й розмір частинок порошку змінюються згідно з законом випадкових величин, тому й площа контакту також розподіляється згідно з ним, тобто напруженість електричного поля, яка необхідна для осі-

дання частинок, змінюється також відповідно до закону випадкових величин [1].

Нехай $f(E)dE$ — та частка порошку, що пройшла крізь форму, від усієї кількості, яка подається на форму за одиницю часу. Ця частка порошку підлітає в інтервалі напруг електричного поля від E до $E+dE$. Якщо за одиницю часу на одиницю площі форми припадає N частинок, то при напрузі поля поблизу сітки E за час dt пройде dn частинок

$$dn = N \cdot dt \cdot C \int_0^E e^{-\frac{(E' - E_1)^2}{2\alpha^2}} \cdot dE', \quad (1)$$

де α — дисперсія розподілу; C — нормувальний коефіцієнт.

Величина дисперсії, яка далі дорівнює E_1 , характеризує ступінь розсіювання величини E . Приймаємо, що цей розподіл характерний найбільш імовірним значенням при $E = E_1$ і розсіювання значень E дорівнює тій самій величині.

Після того як інтеграл у (1) замінено інтегралом імовірності [2]

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{Z_1^2}{2}} \cdot dZ_1,$$

рівняння матиме такий вигляд:

$$dn = N \cdot dt \cdot C \cdot \sqrt{2\pi} \cdot E_1 \left[\Phi\left(\frac{E - E_1}{E_1}\right) + \Phi(1) \right],$$

$$\Phi(\infty) = \frac{1}{2},$$

тому

$$dn = N \cdot dt \frac{\Phi\left(\frac{E - E_1}{E_1}\right) + \Phi(1)}{\frac{1}{2} + \Phi(1)}. \quad (2)$$

При питомому заряді q_0 заряд однієї частинки порошку з масою m дорівнює $q_0 m$, а приріст густини заряду $d\sigma$

$$d\sigma = N \cdot q_0 \cdot m \cdot dt \frac{\Phi\left(\frac{E - E_1}{E_1}\right) + \Phi(1)}{\frac{1}{2} + \Phi(1)}. \quad (3)$$

З другого боку, є можливість визначити напруженість електричного поля у щілині при умові, що розміри елемента зображення значно менші за розмір щілини h .

Коли H дорівнює товщині ізоляційного матеріалу, на якому друкують, та порошкового зображення, а ϵ_1 й ϵ_2 — їх діелектрична проникність, то напруженість поля у щілині

$$E = \frac{\epsilon_2 U - H\sigma}{\epsilon_2 h + \epsilon_1 H} = E_0 - \frac{\sigma}{\epsilon}, \quad (4)$$

де U — величина прикладеної напруги; σ — густина заряду порошкового зображення.

Якщо провести диференціювання (3) і підставити значення $d\sigma$ у (2), то дістанемо

$$d\sigma = N \cdot q_0 \cdot m \cdot dt \frac{\Phi\left(\frac{E - E_1}{E_1}\right) + \Phi(1)}{\frac{1}{2} + \Phi(1)}. \quad (5)$$

Введемо позначення

$$k = N \cdot \frac{H \cdot q_0 \cdot m}{\varepsilon_2 \hbar + \varepsilon_1 H}, \quad (6)$$

$$f(E) = \frac{\Phi\left(\frac{E - E_1}{E_1}\right) + \Phi(1)}{\frac{1}{2} + \Phi(1)}.$$

Тоді з (5) випливає

$$\int \frac{dE}{f(E)} = -kt + C, \quad (7)$$

де C — стала інтегрування.

Інтеграл у лівій частині (7) може бути інтегрований лише у числах, тому це рівняння апроксимується простішою функцією. Інтеграл імовірності з достатньою для нашої мети точністю записується так [8]:

$$\Phi(x) \simeq \frac{1 - e^{-x}}{2}. \quad (8)$$

У цьому разі

$$\sigma = \varepsilon \left\{ E_0 - E_1 \ln \left[1 + \left(e^{\frac{E_0}{E_1}} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{kt}{E_1}} \right] \right\}. \quad (9)$$

Формула (9) виражає закон залежності заряду від тривалості друкування. З цього закону розраховується кінетика осадження порошку

$$\frac{M}{M_0} = 1 - \frac{E_1}{E_0} \cdot \ln \left[1 + \left(e^{\frac{E_0}{E_1}} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{kt}{E_1}} \right], \quad (10)$$

де M — густина порошку на одиницю площі відбитка; M_0 — найбільша густина при $t \rightarrow \infty$.

$$M_0 = \frac{\varepsilon_2 \cdot U}{q_0 H}. \quad (11)$$

При обчисленні припущено, що товщина шару порошку незначна порівняно з товщиною матеріалу, на якому друкують. Тому $H = \text{const}$.

У (10) є параметр розподілу E_1 , який може бути знайдений тільки з результатів дослідів.

Якщо t має незначну величину й початкові напруги теж невеликі ($t \ll \frac{E_1}{k}$ і $E_0 \ll E_1$), то рівняння (11) записується так:

$$M = \frac{M_0 \cdot k \cdot t}{E_1}. \quad (12)$$

Воно описує початкову лінійну ділянку залежності M від напруги чи часу друкування. Нахил цієї ділянки дає змогу визначити $\frac{k}{E_1}$, якщо

$$\frac{M}{M_0} = \frac{k}{E_1} \cdot t. \quad (13)$$

Отже,

$$\frac{k}{E_1} = \text{tg}\varphi, \quad (14)$$

де $\text{tg}\varphi$ — тангенс кута нахилу прямолінійної ділянки до осі часу (рис. 3, крива 2).

Величина k може бути підрахована з (6)

$$k = N \cdot m \cdot q_0 \frac{H}{\epsilon_2 h + \epsilon_1 H}, \quad (15)$$

де N — кількість частинок, які пролітають крізь відкриті чарунки форми за одиницю часу; m — маса кожної з частинок.

Відшукаємо значення

$$Nm_1 = p \cdot V \cdot C, \quad (16)$$

де V — швидкість аерозолі; C — концентрація порошку в об'ємі повітропроводу; p — частка відкритих чарунків сітки [4].

Рис. 3, крива 1 зображає кінетику осідання, яка обчислена за рівнянням (10).

Між залежністю, яка розрахована за теоретичним рівнянням, та знайденою в результаті дослідів, спостерігається систематичний розбіг, тому може бути введено поправочний коефіцієнт γ , який дозволить зменшити цей розбіг [3]

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ie} \cdot M_{it}}{\sum_{i=1}^n M_T^2},$$

де M_e — значення параметра, яке одержано з експериментів; M_T — значення, яке розраховано за допомогою теоретичних рівнянь.

Крива 3, рис. 3 зображає кінетику осідання, яка розрахована за допомогою поправочного коефіцієнта $\gamma = 0,51$.

Розбіг може бути зумовлений збільшенням часу друкування, що значно підвищує об'ємну густину зарядів у щілині. Зміни густини впливають на кількість частинок, що осідають.

Отже, зростання електричного поля в щілині сприяє збільшенню об'єму, з якого порошок осідає на відбиток; сітка гальмує частинки порошку, це допомагає електричному полю осадити більшу кількість частинок з об'єму повітропроводу, наявність сітки зменшує деформацію зображення за рахунок гальмування порошку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М., «Наука», 1969.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм рядов и произведений. М., Физматгиз, 1963.
3. Смирнов Н. В., Душин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959.
4. Штекельберг М. Х., Шепеленко Л. Г., Горюв В. А. Трафаретный друк. Київ, «Техніка», 1967.
5. Ямпольская Д. Б., Белоусов Б. И., Казимиров К. М. Машина электротрафаретной печати. М., 1969.
6. Ямпольская Д. Б. Элементы расчета основных технологических параметров электротрафаретной печатной машины аэрозольного типа. Тезисы докладов научно-технической конференции по специальным видам печати. Киев, 1967.
7. Ямпольская Д. Б., Казимиров К. М., Сафронов В. В. Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам специальных видов печати. Киев, 1969.
8. Янке Е., Эмде Ф. Таблицы функций. М.—Л., ОГИЗ, Гостехиздат, 1948.

D. B. JAMPOLSKAYA

STUDY OF IMAGE-FORMING PROCESS IN ELECTROSTATIC SCREEN PRINTING

Summary

The theoretical and experimental analysis of image-forming process in electrostatic screen printing wherein powder is fed onto printing plate by aerosol method is given in the article. The calculation formulae for determining kinetics of powder precipitation are deduced.