

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРОШКОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОТРАФАРЕТНОМУ СПОСОБІ ДРУКУ

Дослідження якості штрихових відбитків показує, що усі елементи мають помітну деформацію, яка зумовлюється процесом утворення зображення при електротрафаретному способі друку.

Робота присвячена експериментальному і теоретичному дослідженням причин виникнення деформацій з метою поліпшення якості зображення, досліди проводили на спеціальному макеті з нормалізованими технологічними параметрами.

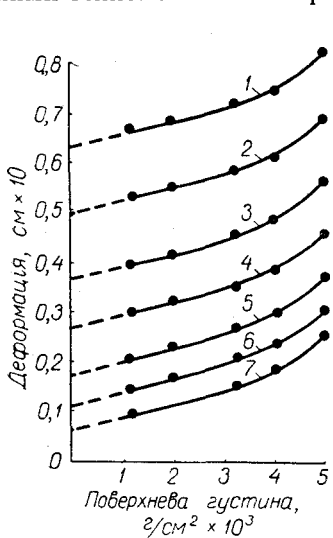


Рис. 1. Залежність деформації від поверхневої густини порошку при зміні швидкості частинок:

(v , см/сек): 1 — 70; 2 — 60; 3 — 50; 4 — 40; 5 — 30; 6 — 20; 7 — 10. $E = 5,5$ кв/см; $b = 0,005$ см; $c = 5 \times 10^{-2}$ г/см³.

Зображення може деформуватися як у процесі осідання порошку, так і після його закінчення. Коли частинки осідають, то причиною деформації може бути горизонтальна складова початкової швидкості руху частинок порошку уздовж поверхні форми, а також викривлення силових ліній електричного поля з краю штриха, яке утворюється зарядженими частинками порошку, що осідає. Величина викривлення силових ліній електричного поля залежить від кількості порошку. Збільшення порошку сприяє зростанню викривлення, що спричиняється до відхилення руху заряджених часток від прямолінійної траєкторії. Збільшення напруги електричного поля скорочує тривалість перебування частинок у щілині, що зменшує їх відхилення.

Відокремлення матеріалу, на якому створено порошокове зображення, від електроду зменшує сили дзеркального зображення у електроді, що також спричиняється до розлітання частинок, які мають однаковий заряд.

Причини деформації досліджені на макеті, в який вмонтовано мікроскоп. Це дало змогу вивчити величину деформації

без виведення порошоквого зображення із зони друкування.

Деформацію, причиною якої була горизонтальна складова швидкість, вивчали з різними величинами поверхневої густини порошоквого зображення (рис. 1). Деформація зменшується з падінням величини поверхневої густини (C), тому за лінійної екстраполяції кривих до значення нульової густини на осі ординат буде показана величина деформації, яка залежить тільки від швидкості руху частинок уздовж форми. Лінійна екстраполяція кривих показана пунктиром. Якщо відрахувати одержану щойно деформацію від значення загальної, то результатом буде сумарна деформація, причина якої — електростатичне розштовхування частинок та викривлення силових ліній поля.

Деформацію, пов'язану тільки з електростатичним розштовхуванням, вивчали під час друкування на склі, один бік якого покривали срібним шаром, що використовувався замість електрода. Напівпрозорий шар срібла дозволяє чітко бачити порошокове зображення на друговому боці електрода. Ширину штриха вимірювали і за наявності електричного поля, і за його відсутності. Деформація, яка з'являється після вимикання поля, пов'язана тільки з електростатичними силами розштовхування. Якщо поверхнева густина зростає від 1 до $5 \text{ г/см}^2 \cdot 10^{-3}$, то деформація змінюється від 0,01 до 0,07 см.

Деформація, яку спостерігаємо після закінчення друкування, виникає внаслідок переміщення відбитку з електрода до закріплюючого пристрою. Для визначення величини цієї деформації переміщення здійснювали на пристрої, який складається з двох важелів-штовхачів зі зворотно-поступальним рухом. Швидкість руху важелів плавно регулювали від 0 до 0,5 м/сек. Ширину штриха вимірювали і за наявності електричного поля, і за його відсутності. Результати експериментів показали, що швидкість переміщення до 0,3 м/сек спричиняється до незначної деформації зображення (до 0,005 см), якщо поверхнева густина не перевищує $2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$. У цьому випадку відбиток може переміщуватися при вимкненому полі. Якщо швидкість перевищує 0,3 м/сек, або поверхнева густина зображення більша $2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$, то відбиток повинен переміщуватися при наявності електричного поля, а це ускладнює апаратуру.

Результати експериментів показують, що деформація, причиною якої є викривлення силових ліній електричного поля, має незначну величину. Теоретичний розрахунок такої деформації підтверджує наслідки дослідження. Тому у теоретичному аналізі можна враховувати лише деформацію, яка виникає внаслідок горизонтальної складової швидкості частинок.

Величина деформації x залежить від цієї швидкості v та тривалості τ перебування частинки в щілині:

$$x = v \cdot \tau. \quad (1)$$

Приблизно можна прийняти, що початкова швидкість дорівнює швидкості подавання частинок на форму. Отже, для визначення деформації треба знайти тривалість перебування частинки в зазорі.

Для визначення цієї величини знайдемо рівняння руху частинки. Спочатку визначимо силу, яка діє на цю частинку

$$F_0 = F - F_c, \quad (2)$$

де q — заряд частинки; $F = Eq$ — сила електричного поля; $F_c = 3\pi d\eta v$ — сила опору повітря; d — середній діаметр частинки; η — в'язкість повітря [1]; v — середня швидкість руху частинки [2].

Підраховано, що сила електричного поля дорівнює $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ дін}$, а сила опору повітря $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ дін}$, тому обидві сили треба враховувати у подальшому розгляді.

Рівняння руху в напрямку x матиме вигляд

$$m\ddot{x} = qE - 3\pi d\eta \cdot \dot{x}, \quad (3)$$

де m — маса частинки.

Якщо позначити

$$p = \frac{qE}{m} = q_0 E, \quad (4)$$

де q_0 — питомий заряд частинки,

$$a = \frac{3\pi d\eta}{m}, \quad (5)$$

то

$$\ddot{x} + ax = p. \quad (6)$$

За початкових умов $t=0, x=\dot{x}=0$ це рівняння матиме такий вигляд:

$$x = \frac{p}{a^2} (e^{-at} - 1 + at).$$

За початкових умов $x=b, t=\tau$ це рівняння набирає вигляду

$$b = \frac{p}{a^2} (e^{-a\tau} + a\tau - 1),$$

де b — ширина щілини,

$$e^{-a\tau} + a\tau = \frac{a^2 b}{p} + 1. \quad (7)$$

Величина деформації розраховується при різних щілинах, напругах електричного поля та швидкостях руху частинок з використанням формул (1, 4, 5 і 7).

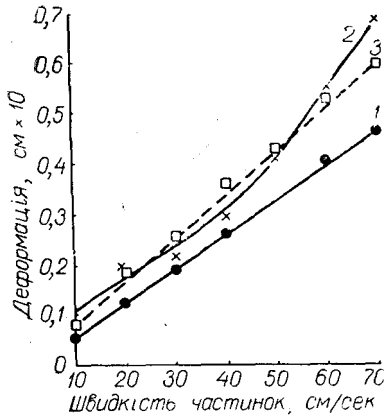


Рис. 2. Залежність деформації від швидкості руху частинок уздовж форми:

1 — теоретична; 2 — експериментальна; 3 — теоретична з поправочним коефіцієнтом; $b=0,05$ см; $E=5,5$ кв/см.

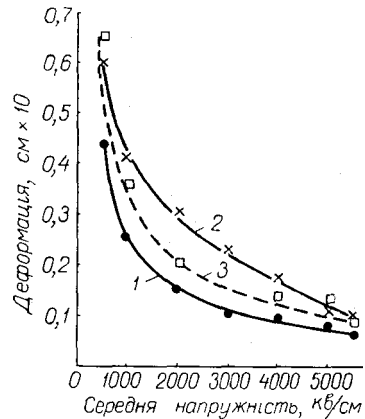


Рис. 3. Залежність деформації від величини середньої напруги електричного поля:

1 — теоретична; 2 — експериментальна; 3 — теоретична з поправочним коефіцієнтом; $v=10$ см/сек; $b=0,005$ см.

Результати теоретичного обчислювання деформацій показано кривими 1 на рис. 2, 3, 4, а результати експериментів — кривими 2.

Систематичні розбіжності між результатами теоретичних і експериментальних досліджень можна зменшити при підрахуванні деформації на порошоківому зображенні, яке утворюється у машинах електротрафаретного друку.

З цією метою у рівняння (1) можна ввести поправочний коефіцієнт γ [3]

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

де x_{ie} — експериментальне значення деформації; x_{it} — значення деформації, яке підраховано з рівняння (1).

Кожна з кривих 3 (рис. 2, 3, 4) показує значення деформації, розрахованої за допомогою коефіцієнта γ .

Аналіз результатів показує, що зміна швидкості руху частинок і напруги поля (щілина дорівнює 0,005 см і визначається товщиною нитки сітки) спричиняються до однакового характеру розбіжностей між теоретичними результатами й дослідом. Розраховані значення є нижчими від експериментальних. Коефіцієнти при зміні швидкості руху $\gamma_v = 1,33$ та напруги поля $\gamma_E = 1,45$ мають близькі за величиною значення, а це дає змогу зробити припущення про однакові фізичні явища, які є причиною цієї розбіжності. Тому з теоретичного аналізу виключено деформації, які зумовлені викривленням силових ліній.

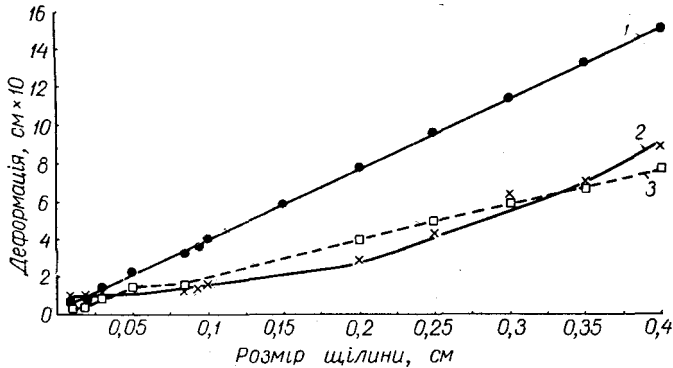


Рис. 4. Залежність деформації від розміру щілини між формою та матеріалом:
1 — теоретична; 2 — експериментальна; 3 — теоретична з поправочним коефіцієнтом.

Розраховуючи деформації при різних щілинах, треба також увести поправочний коефіцієнт $\gamma_s = 0,52$. Це зумовлено тим, що при великих розмірах щілин не можна було виключити з розрахунків впливу електричного поля об'ємного заряду частинок. Зі збільшенням щілини частинки відхиляються далі від щільної частини штриха, що підтверджується розрахунком деформацій при щілинах 0,05 і 0,1 см: вони вищі, ніж розрахункові, тобто наявний механізм, який розглядався для γ_E та γ_v .

ВИСНОВКИ

1. Деформація порошкового зображення при електротрафаретному способі друку виникає у процесі осадження порошку і після його закінчення.

2. Деформація у процесі осадження залежить від початкової горизонтальної складової швидкості руху частинок уздовж форми та кількості порошку, який створює зображення. Зі збільшенням кількості порошку сильніше викривляється електричне поле на краях зображення.

3. Деформація, яка виникає після закінчення осадження, залежить від електростатичного розштовхування частинок та швидкості руху відбитку в зону закріплення порошку.

4. Виведено формули для розрахунку технологічних режимів процесу друкування, якщо відомі допустимі величини викривлення оригіналу.

5. Визначена величина кожного з видів деформації.

6. Якість зображення може бути підвищена за рахунок зменшення швидкості подачі порошку на форму та додержання нормальної величини поверхневої густини порошкового зображення.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. М.—Л., Гостехиздат, 1950.
2. Элементарный учебник физики, том II, М., «Наука», 1966.
3. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959.

GLUSHKO V. D., DRAVIN A. B., YAMPOLSKAYA D. B.

STUDY OF POWDER IMAGE DEFORMATION IN ELECTROSTATIC SCREEN PRINTING

Summary

The theoretical and experimental analysis of all kinds of deformation taking place in and after precipitation of powder are given in the article. The calculation formula enabling to determine the technological regimes of printing on uneven surfaces with the given value of distortion tolerances of original are deduced.
