

УДК 655.225:773.92

О. В. ВАЙНЕР, О. О. БЕЛІЦЬКИЙ, Р. С. КУРОПАСЬ, Я. І. ДУБ

**ВИЗНАЧЕННЯ УМОВИ НАДІЙНОСТІ
КРІПЛЕННЯ ДРУКУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ФОТОПОЛІМЕРНИХ ФОРМ**

Кріплення друкуючих елементів (ДЕ) до підкладки є принципово новим для високого друку. Воно виникло у зв'язку з появою фотополімерних друкарських форм (ФДФ). У традиційних формах ДЕ та підкладку виготовляють з одного матеріалу і вони станов-

лять єдине ціле. Тому їх стійкість визначається механічною міцністю самого матеріалу.

Фотополімерна друкарська форма (ФДФ) — багат шаровий матеріал, в якому ДЕ, що стоять окремо, закріплені на підкладці за допомогою адгезиву. Від надійності кріплення залежить стійкість ДЕ у процесі друку, що визначає тиражестійкість ФДФ.

Для того щоб сформулювати умови надійності кріплення ДЕ, необхідно визначити, які сили, що діють на друкуєчий елемент,

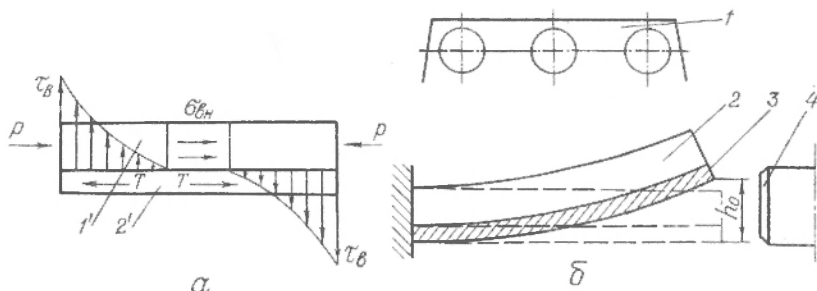


Рис. 1. Схеми виникнення внутрішніх напруг (а) (1' — ФПШ; 2' — підкладка) та приладу для виміру внутрішніх напруг (б):

(1 — джерело УФ-світла; 2 — ФПШ; 3 — підкладка; 4 — вимірювальний мікроскоп).

виникають у процесі виготовлення ФДФ, її закріплення в друкарській машині та друкування тиражу.

Відомо [1, 11], що при виготовленні фотополімерних друкарських форм світлочутливий шар опромінюють актинічним світлом, яке ініціює в ньому процес радикальної полімеризації. Це сприяє утворенню просторовозшитої структури шару. Процес структуроутворення зумовлює усадку фотополімеризуючого шару (ФПШ), яка призводить до утворення внутрішніх напруг $\sigma_{вн}$.

Схематично виникнення внутрішніх напруг показано на рис. 1, а. Внаслідок усадки, викликані фотохімічними перетвореннями і наступною обробкою вимивним розчином, ФПШ прямує до скорочення з силою P , яка урівноважується силами адгезії T , що діють на міжфазній площині ФПШ — адгезив—підкладка. Значення діючих в півці нормальних внутрішніх напруг можна визначити з такого співвідношення [8]:

$$\sigma_{вн} = P/S, \quad (1)$$

де S — площа поперечного перерізу ФПШ.

Сила P викликає дотичні напруги $\tau_{вн}$ на міжфазній площині, що локалізуються на краях ДЕ, як це показано на рис. 1. Проти сил адгезії діють $\tau_{вн}$. Це може призвести до відшарування плівки від підкладки, якщо $\tau_{вн}$ перевищать адгезійну міцність на зсув $\tau_{вн} > \tau_a$. Дотичні напруги $\tau_{вн}$ є функцією нормальних внутрішніх напруг $\tau_{вн}$ [8], тому визначення сил, що протидіють адгезії і виникають в процесі виготовлення ФДФ, полягає в знаходженні $\tau_{вн}$.

Значення внутрішніх напруг залежить від властивостей фотополімеризуючої композиції, умов проведення формного процесу, і його можна визначити експериментально.

З цією метою розроблено метод, а також прилад, що працює наступним чином (рис. 1, б). Вирізають ділянку фотополімеризуючої пластини (ФПП) і закріплюють її одним кінцем в затискачеві так, щоб ФПШ був звернений до освітлювача. Під час фотополімеризації у ФПШ відбувається усадка, яка спричиняє зменшення його довжини, тоді як металева підкладка не змінює своїх лінійних розмірів. Це сприяє згину ФПП у бік ФПШ. Значення згину, яке кількісно характеризують відхиленням h_0 вільного кінця ФПП від вихідного положення, фіксують за допомогою мікроскопа МПБ-2 і виміральної лінійки.

Для дослідження внутрішніх напруг, що виникають під час вимивання пробілів, ФПП експонують без негатива й обробляють вимивним розчином у стандартних умовах.

Одержаний зразок закріплюють на приладі та проводять виміри.

При заданих значеннях геометричних розмірів підкладки та світлочутливого шару внутрішні напруги розраховують за формулою [8—10]

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{h_0 E h_2^2}{3l^2 (1 - \mu) (h_2 + h_1)}, \quad (2)$$

де E — модуль пружності підкладки; $h_1 h_2$ — товщина ФПШ і підкладки; l — довжина зразка; μ — коефіцієнт Пуассона підкладки.

Закріплення ФДФ у друкарській машині викликає додаткові напруги у ФПШ, особливо в тому випадку, коли мова йде про ротатійну машину. Значення напруги, що виникає при вигині ФДФ навколо формного циліндра $\sigma_{\text{внг}}$, можна визначити аналітичним способом. Розглянемо ФДФ, зігнуту навколо формного циліндра. Нехай h_1 і h_2 позначають товщину полімерного шару та підкладки. Виділимо в ФДФ елемент суміжними поперечними перетинами $m-m$ та $n-n$, які знаходяться один від одного на відстані dx (рис. 2).

На основі гіпотези незмінності нормалей [4], згідно з якою нормалі до серединної поверхні при вигині пластини не скривлюються і залишаються перпендикулярними, можна стверджувати, що перетини $m-m$ і $n-n$ при вигині залишаються плоскими і повертаються на кут $d\theta$, внаслідок чого нижній шар укорочується, а верхній — подовжується. Одночасно існує шар, де відсутні будь-які зміни довжини при вигині, який називають нейтральним (0—0). Елемент $a_0 b_0$ нейтрального шару перетворюється в дугу $a_0' b_0'$ з радіусом ρ , а відрізок ab , що перебуває на відстані y від нейтрального шару — в криволінійний відрізок $a_1 b_1$ з радіусом кривизни $\rho + y$. Відносне подовження цієї ділянки $\epsilon = (a_1 b_1 - ab) / ab$, але $a_1 b_1 = (\rho + y) d\theta$ та $ab = dx$, тому

$$\epsilon = \frac{(\rho + y) d\theta - dx}{dx}. \quad (3)$$

Оскільки

$$a_0 b_0 = dx, \quad a_0' b_0' = \rho d\theta, \quad \text{то } dx = \rho d\theta. \quad (4)$$

Підставляючи вираз (4) у (3) та скоротивши на $d\theta$, одержуємо

$$\epsilon = \frac{y}{\rho} \quad (5)$$

Таким чином, відносна поздовжня деформація пропорційна відстані від нейтральної лінії. Максимальна відносна поздовжня деформація під час вигину знаходиться у поверхневих шарах полімеру і підкладки, найбільш віддалених від нейтрального шару

$$y = h_1 - l, \quad y = h_2 + l,$$

де l — відстань від границі шарів до нейтрального шару.

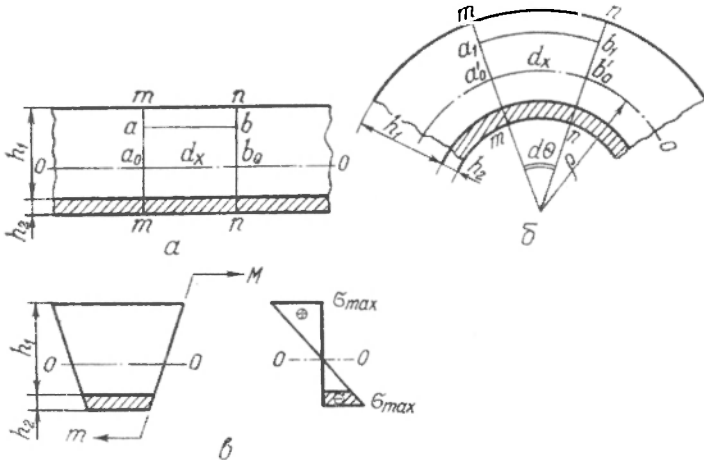


Рис. 2. Схема виникнення напруг вигину:

a — ДЕ перед вигином; b — ДЕ під час вигину; σ — епюра напруг, які виникають в ДЕ під час вигину.

Відрізок ab на будь-якій відстані від нейтрального шару при вигині знаходиться в лінійному напруженому стані — зазнає розтягання чи стиснення. Тому закон Гука для нього слід записати у вигляді [4]

$$\epsilon = \sigma/E, \quad (6)$$

де E — модуль пружності матеріалу. Після підстановки у вираз (6) значення деформації з рівняння (5) одержуємо формули для обчислення нормальної напруги при вигині:

$$\text{у верхньому шарі } \sigma_{1 \text{ виг}} = \frac{E_1}{\rho} y,$$

$$\text{у нижньому шарі } \sigma_{2 \text{ виг}} = \frac{E_2}{\rho} y,$$

де E_1 — модуль пружності зшитого полімерного шару; E_2 — модуль пружності підкладки.

Найбільшого значення ($\sigma_{\text{виг}}^{\text{max}}$) напруги досягають у шарах, найбільш віддалених від нейтральної лінії, їх визначають за формулами

$$\text{для верхнього шару } \sigma_{1 \text{ виг}}^{\text{max}} = \frac{E_1}{\rho} (h_1 - l),$$

$$\text{для нижнього шару } \sigma_{2 \text{ виг}}^{\text{max}} = \frac{E_2}{\rho} (h_2 + l).$$

А в нейтральному шарі, де $y=0$, $\sigma_{0 \text{ виг}}=0$.

Таким чином, еюра напруг для будь-яких розділів ФДФ у вигнутому стані буде мати вигляд, показаний на рис. 2.

Положення нейтрального шару можна визначити з умови рівності нулю осевої сили N [4], яка дорівнює сумі інтегралів від σ по товщині верхнього і нижнього шару

$$N = \int_l^{(h_1-l)} \sigma_{1 \text{ виг}} dy + \int_{-(h_2+l)}^l \sigma_{2 \text{ виг}} dy = 0,$$

або

$$N - \frac{E_1}{\rho} \int_l^{(h_1-l)} y dy + \frac{E_2}{\rho} \int_{-(h_2+l)}^l y dy = 0, \quad (7)$$

звідки знаходимо

$$l = \frac{E_2 h_2^2 - E_1 h_1^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}. \quad (8)$$

Радіус кривизни ρ можна знайти з такого співвідношення:

$$\rho = R_{\text{вн}} + h_2 + l, \quad (9)$$

де $R_{\text{вн}}$ — радіус формного циліндра.

Напруги, які послаблюють міцність кріплення ФПШ до підкладки, виникають на границі цих двох шарів. Тому необхідно визначити саме ці напруги. Для граничного шару $y=l$, отже,

$$\sigma_{\text{виг}} = \frac{E_1}{\rho} l. \quad (10)$$

Друк з ФДФ на ротаційних машинах супроводжується складними фізико-механічними явищами: пружними деформаціями форми, паперу, декаля, друкарського апарату і т. д. Вказані явища зумовлюють виникнення у ДЕ нормальних і дотичних напруг.

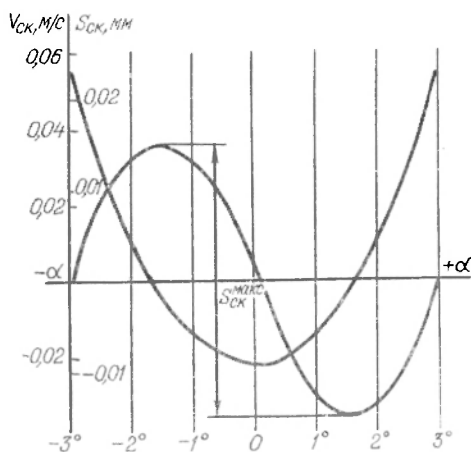
Сумарний тиск друку викликає нормальні напруги. Враховуючи, що поверхня ДЕ, як правило, має значно меншу площу порівняно з поверхнею друкарського циліндра, слід вважати, що у цьому випадку наявний крапковий контакт. Нормальні напруги, що виникають внаслідок сумарного тиску під час друку, напрямлені перпендикулярно підкладці і тому не діють проти сил адгезії.

Дотичні напруги $\sigma_{\text{дот}}$ виникають в основному в результаті відносного ковзання між ДЕ і друкарським циліндром. Як показав О. О. Тюрін [7], це ковзання неминуче виникає в зоні контакту друку за рахунок більш високих деформацій декаля порівняно з друкарською формою.

Таким чином, задача визначення напруг, які виникають у процесі друку і напрямлені проти сил адгезії, зводиться в першому наближенні до розрахунку дотичних напруг.

О. О. Тюрін запропонував формулу для розрахунку сумарного ковзання ДЕ по паперу [7]:

$$\Sigma S_{\text{ковз}} = 2 \int_0^{t_k/2} V_{\text{ковз}} dt - 2R_{\phi} \left(\frac{R_0 - 2}{R_0 + 2} \alpha_k + \sin \alpha_k + \frac{1}{2} \sin 2\alpha_k - \frac{1}{3} \sin 3\alpha_k \right), \quad (11)$$



де $\Sigma S_{\text{ковз}}$ — сумарне відносне переміщення друкарської форми та паперу за період контакту друку; $V_{\text{ковз}}$ — відносна швидкість ковзання ДЕ по паперу; t_k — час контакту друку; R_{ϕ} — радіус друкарської форми; z — значення, яке характеризує положення точки до-

Рис. 3. Діаграма відносних швидкостей і сумарних переміщень у зоні контакту друку.

тику початкових кіл шестерень відносно зони контакту за її глибиною; α_k — половина центрального кута зони контакту; R_0 — радіус діляногого кола зубчастих колес приводу формного та друкарського циліндрів.

Згідно з результатами графоаналітичних розрахунків О. О. Тюрін побудував діаграму відносних швидкостей і сумарних переміщень [7]. Частина цієї діаграми, яка необхідна для розрахунків, показана на рис. 3. Враховуючи, що для ротаційних машин кут контакту друку, як правило, становить 3° , на основі аналізу рис. 3 маємо $|\Sigma S_{\text{ковз}}| = 0,03$ мм. Для визначення елементарної роботи сил тертя (dA) за час dt К. В. Тіром запропонована така формула [6]:

$$dA = q\mu_{\phi} d\Sigma S_{\text{ковз}} = P\mu_{\phi} V_{\text{ковз}} dt, \quad (12)$$

де q — навантаження на 1 см^2 форми у смузі контакту; P — питомий тиск при друці; μ_{ϕ} — коефіцієнт тертя ковзання ДЕ на папері.

Рішаючи рівняння (12), одержуємо сумарну питому роботу сил тертя [6]:

$$A_{\Sigma} = A_0 \mu_{\phi} R_0 (1 + \alpha),$$

де A_0 — відносна робота сил тертя, яку визначають з номограм праці [6].

Враховуючи, що у відомій залежності $A = PS$, A_{Σ} — питома робота, $P = \sigma_{\text{дот}}$.

Звідси

$$\sigma_{\text{дот}} = A_{\Sigma} / \Sigma S_{\text{РОВЗ}}. \quad (13)$$

Таким чином, у процесі виготовлення ФДФ, її закріплення на друкарській машині та під час друку тиражу виникають і діють проти сил адгезії внутрішні $\sigma_{\text{вн}}$, вигину $\sigma_{\text{виг}}$ та дотичні напруження $\sigma_{\text{дот}}$.

Відомо, що для знаходження умови надійності кріплення друкуючих елементів ФДФ напруги, які виникають в ДЕ, слід визначати в екстремальних умовах: виготовлення ФДФ — у найбільш жорсткому режимі, вигин навколо циліндра — найменш можливого діаметра, друкування — в найбільш жорстких умовах.

Для забезпечення стійкості друкуючих елементів їх питомий опір зсуву, який характеризує міцність кріплення ДЕ до підкладки [2], повинен бути не нижчим за сумарне значення діючих в шарі напруг:

$$\sigma_{\text{міцн}} \geq \sigma_{\text{вн}} + \sigma_{\text{виг}} + \sigma_{\text{дот}}. \quad (14)$$

При визначенні міцності будь-яких матеріалів спостерігається деякий розкид одержаних величин. Це пояснюється властивостями досліджуваних матеріалів, а також помилками виміру. У машинобудуванні на основі даних експлуатації матеріалів у різних умовах використовують коефіцієнт запасу міцності [3].

Для ФДФ зручніше застосовувати коефіцієнт однорідності, який використовується при розрахунку будівельних конструкцій [5].

Тому для одержання розрахункового значення необхідної міцності адгезійного зв'язку слід ввести у рівняння (14) поправку на коефіцієнт однорідності (k_0), який звичайно приймають 0,7—0,8:

$$\sigma_{\text{міцн}}^{\text{розр}} \geq \frac{\sigma_{\text{вн}} + \sigma_{\text{виг}} + \sigma_{\text{дот}}}{k_0}. \quad (15)$$

Рівняння (15) — це умова надійності кріплення друкуючих елементів ФДФ.

Проведені дослідження та розрахунки діючих напруг і визначення умови надійності кріплення ДЕ ФДФ «Целлофот» засвідчили, що для нього найменше значення питомого опору друкуючих елементів зсуву, яке забезпечує їх стійкість під час друкування тиражу, становить 16 МПа.

Список літератури: 1. *Белицкая С. И., Горбан С. А., Акоева Е. Г.* Исследование процесса изготовления фотополимерных печатных форм высокой печати. — В кн.: Новая полиграфическая техника. Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1971. 2. *Белицкий О. А., Вайнер А. В.* К вопросу определения

качества фотополимеризующихся пластин. — Полиграфия, 1976, № 10. 3. *Биргер И. А.* Расчеты на прочность деталей машин. — М.: Машиностроение, 1979. 4. *Бояринов С. В.* Основы строительной механики машин. — М.: Машиностроение, 1973. 5. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям. — М.; Л.; Госстройиздат, 1966. 6. *Тир К. В.* Механические явления, сопровождающие цикл печатного контакта в плоскочечатных машинах. — В кн.: Труды УНИИПП, вып. 3. Киев: Гостехиздат, 1954. 7. *Тюрин А. А.* Скольжение в зоне печатного контакта. — В кн.: Научные труды МПИ, вып. 4. М.: Искусство, 1956. 8. *Санжаровский А. Т., Елифанов Г. И., Ломакин А. Т.* Внутренние напряжения в полимерных покрытиях. — Лакокрасочные материалы и их применение, 1962, № 3. 9. *Санжаровский А. Т.* Методы определения механических и адгезионных свойств полимерных покрытий. — М.: Наука, 1974. 10. *Санжаровский А. Т.* Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. — М.: Химия, 1978. 11. *Шиманский В. М., Школьник С. И., Белицкая С. И.* Технология и техника изготовления фотополимерных печатных форм. — В кн.: Полиграфическая промышленность. М.: Книга, 1971.

Authors developed the method of determination of the stress arising in the printing elements of the printing plates during their production and usage. There is formulated the condition of reability of the printing elements attaching on the photopolymeric plates.

Стаття надійшла до редколегії 21. 12. 81