

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФОТОПОЛІМЕРНОЇ ФОРМИ НА ОСНОВІ РІВНЯНЬ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Визначимо на основі [1, 2] причини пошкоджень фотополімерної форми залежно від її закріплення та дії тиску друку.

Віднесемо оболонку фотополімерної форми (рис. 1) до системи координат z, β, γ , де z — довжина ($0 \leq z \leq L$), β -полярний

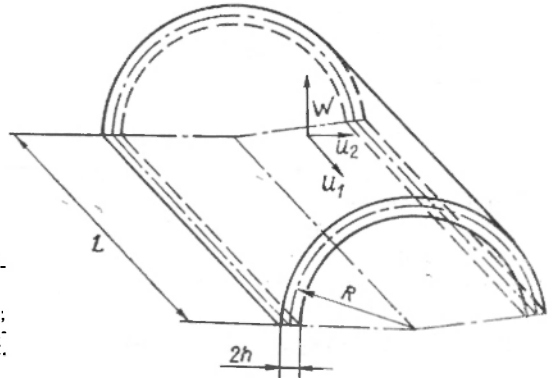


Рис. 1. Розрахункова конструкція:

L — довжина; $2h$ — товщина;
 R — радіус середньої поверхні;
 u_1, u_2, w — переміщення.

кут по дузі ($\beta_0 \leq \beta \leq \beta_1$); γ — координата по нормалі до середньої поверхні оболонки ($-h \leq \gamma \leq h$).

Запишемо вихідні рівняння пружності для незамкненої циліндричної оболонки друкарської форми [2]:

$$\frac{1}{1-\nu} \frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} + \frac{1}{2R^2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial \beta^2} + \frac{1}{2R(1-\nu)} \frac{\partial^2 u_2}{\partial z \partial \beta} + \frac{\nu}{(1-\nu)R} \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1+\nu}{2Eh} q_1, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{R^4} \frac{\partial^3 w}{\partial \beta^3} + \frac{(2-\nu)}{R^4} \frac{\partial^3 w}{\partial z^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^2} \left(\frac{3}{h^3} + \frac{1}{R^2} \right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial \beta^2} + \\ & + \left(\frac{3(1-\nu)}{h^2} + \frac{3(1-\nu)}{R^2} \right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2} + \frac{3}{R^2 h^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \beta \partial z} + \frac{3}{h^2 R^2} \frac{\partial w}{\partial \beta} = \\ & = \frac{3(1-\nu^2)}{2Eh} \left(-q - \frac{m_2}{R} \right), \quad (2) \end{aligned}$$

$$R \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} + \frac{1}{R^4} \frac{\partial^4 w}{\partial \beta^4} + \frac{2}{R} \frac{\partial^4 w}{\partial z^2 \partial \beta^2} - \frac{2-\nu}{R} \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^3} \frac{\partial^3 u_2}{\partial \beta^3} +$$

$$+ \frac{3}{h^3 R} \frac{\partial u_2}{\partial \beta} + \frac{3\nu}{h^2} \frac{\partial u_1}{\partial \beta} + \frac{3}{h^2 R} \tau_{11} = R \frac{3(1-\nu^2)}{2Eh^3} \left(q_m + \frac{\partial m_1}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial m_2}{\partial \beta} \right), \quad (3)$$

де u_1, u_2, w — переміщення; E і ν — модуль пружності та коефіцієнт Пуасона фотополімерного матеріалу; q_i, m_i — компоненти зовнішнього силового та моментного навантаження. Вони визначаються значенням сили друку, відцентровою силою інерції і їх можна знайти для конкретної друкарської машини.

Компоненти деформації в оболонці шукають через переміщення у вигляді [2]

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 = \frac{\partial u_1}{\partial z}; \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{R} \frac{\partial u_2}{\partial \beta} + \frac{w}{R}; \quad \varepsilon_{12} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial u_1}{\partial \beta} + \frac{\partial u_2}{\partial z} \right), \\ \kappa_1 = -\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \quad \kappa_2 = -\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial w}{\partial \beta} - u_1 \right), \quad (4) \\ \kappa_{12} = -\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial \beta} - u_2 \right), \end{aligned}$$

де величина з індексом 1 відповідає напрямку координат z , а з індексом 2 — координат β .

Зусилля і моменти запишемо як

$$\begin{aligned} N_1 = \frac{D_0}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2), \quad N_2 = \frac{D_0}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1), \quad S_{12} = \frac{D_0}{1-\nu} \varepsilon_{12}, \\ M_1 = D_1 (\kappa_1 + \nu\kappa_2), \quad M_2 = D_1 (\kappa_2 + \nu\kappa_1), \quad H_{12} = D_1 (1-\nu) \kappa_{12}, \quad (5) \end{aligned}$$

де

$$D_1 = \frac{2}{3} \frac{Eh^3}{(1-\nu^2)}; \quad D_0 = 2Eh.$$

Напруження в оболонці фотополімерного матеріалу

$$\begin{aligned} \sigma_{11} = \frac{1}{2h} \left(N_1 + 3M_1 \frac{\gamma}{h^2} \right), \quad \sigma_{22} = \frac{1}{2h} \left(N_2 + 3M_2 \frac{\gamma}{h^2} \right), \\ \sigma_{12} = \frac{1}{2h} \left(S_{12} + 3H_{12} \frac{\gamma}{h^2} \right). \quad (6) \end{aligned}$$

Важливе значення в інженерній поліграфічній практиці має раціональне кріплення ФДФ, що відповідає визначенню оптимальних граничних умов.

Для запису граничних умов в теорії оболонок вводять поняття взаємно відповідних сил і переміщень. По лінії $z=z_0$ взаємно відповідні

$$\begin{aligned} (N_1, u_1), \quad \left(S_{12} + \frac{2}{R} H_{12} \frac{\gamma}{h^2}, u_2 \right), \quad \left(\frac{\partial M_1}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial H_2}{\partial \beta} + m_1 + \right. \\ \left. + \frac{1}{R} \frac{\partial M_{12}}{\partial z}, w \right), \quad \left(M_1, \frac{\partial w}{\partial z} \right), \quad (7) \end{aligned}$$

а по лінії $\beta = \beta_0$

$$\begin{aligned} & (N_2, u_2), (S_{12}, n_1), \left(\frac{1}{R} \frac{\partial M_2}{\partial \beta} + \frac{H_{12}}{\partial z} + m_2 + \right. \\ & \left. + \frac{M_{21}}{\partial z}, w \right), \left(M_2, \frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial \beta} - u_2 \right). \end{aligned} \quad (8)$$

У випадку жорсткого кріплення при $\beta = 0$ (або $\beta = \beta_1$) приймаємо

$$u_1 = 0, u_2 = 0, w = 0, \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (9)$$

Рівняння (1)–(3) разом з граничними умовами (7)–(8) становлять крайову задачу для визначення у фотополімерній оболонці переміщень, деформацій та напружень.

Для числового розв'язання задачі на ЕОМ перейдемо до дискретного аналогу. Оболонку розбиваємо сіткою з кроком h_z по координаті z і h_β по координаті β . Функції u_1, u_2, w у вузлах розбивання $\{i, j\}$ апроксимують дискретними. Похідні у задачі (1)–(3) і граничних умовах (7)–(8) замінюємо кінцевими різницями. Наприклад,

$$\frac{\partial w_{ij}}{\partial z} = \frac{1}{12 h_z} (w_{i-2,j} - 8w_{i-1,j} + 8w_{i+1,j} - w_{i+2,j}). \quad (10)$$

Отриману таким чином систему алгебраїчних рівнянь розв'язують ітераційним методом релаксації [2]. Потім чисельно визначають деформації та напруження за формулою (4)–(6).

Обчислювальний експеримент проводили на ЕОМ СЕ 1060. Сітка розбиття оболонки 16×16 .

Для прикладу розглядали ФДФ розміром 400×564 мм² друкарської машини ГАУ-2, матеріал «Целлофот-2». Досліджен-

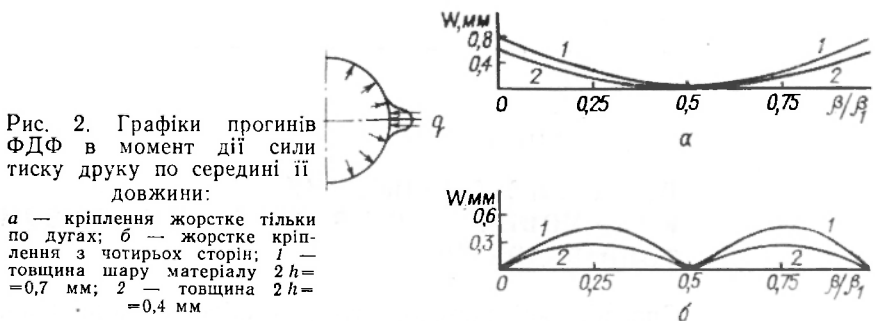


Рис. 2. Графіки прогинів ФДФ в момент дії сили тиску друку по середині її довжини:

a — кріплення жорстке тільки по дугах; *б* — жорстке кріплення з чотирьох сторін; 1 — товщина шару матеріалу $2h = 0,7$ мм; 2 — товщина $2h = 0,4$ мм

ня проводили залежно від розміщення сили тиску друку на поверхню ФДФ, товщини оболонки, експлуатаційного середовища, а також умов кріплення. Швидкість обертання формного циліндра ротаційної машини 48000 об/год.

На рис. 2,3 показані графіки максимального переміщення в ФДФ при дії олифи 72 год. Механічні характеристики матеріалу, а також реальні значення тиску друку брали з праць [1, 2].

При дії олифи розрахункові деформації фотополімерного матеріалу менші, ніж на повітрі, що можна пояснити не дуже вираженим проявом окислювально-диструкційних процесів.

Під час довготривалої експлуатації в середовищах відбувається структурна зміна матеріалу і деформації в фотополімер-

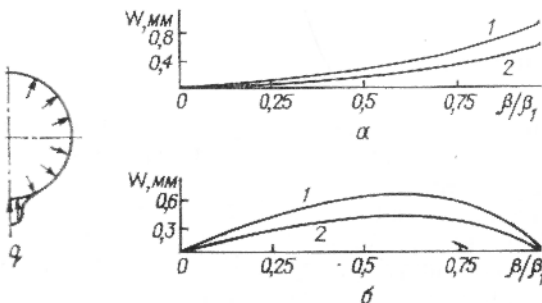


Рис. 3. Графіки прогинів ФДФ в момент дії сили тиску друку в зоні початку друку:

a — жорстке кріплення тільки по двох дугах; *b* — жорстке кріплення з чотирьох сторін; 1 — товщина шару матеріалу $2h=0,7$ мм; 2 — $2h=0,4$ мм.

ній оболонці знижуються. З допомогою формул (6) розраховано, що максимальні дотичні напруження дорівнюють 1,75 МПа.

Отже, на основі математичного експерименту доведено, що зі зменшенням товщини ФДФ прогин зменшується за рахунок спаду відцентрової сили інерції. При чотиристоронньому кріпленні оболонки максимальний прогин менший, ніж при кріпленні тільки по дугах.

1. Дуб Я. И., Огирко И. В., Ясинский М. Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния фотополімерных форм // Тез. докл. II Всесоюз. конф. «Механика неоднородных структур». Львов, 1987. С. 90—91.
 2. Куропась Р. С., Огирко И. В. Оптимизация деформаций печатных форм. Львов, 1987.

Стаття надійшла до редколегії 23.12.87