

УДК 675.92.027

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД  
ТИСКОМ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ З МЕТАЛЕВИМИ ВСТАВКАМИ**

Б.П. КОРНІЄНКО, Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*У статті представлені результати аналітичного визначення параметрів розплаву полімеру в оформлюючій порожнині прес-форми. Встановлені закономірності, що визначають залежності цих параметрів від технологічних параметрів процесу лиття під тиском та від конструктивних особливостей прес-форми*

Метод лиття під тиском уже багато років використовується при виготовленні підошов взуття широкого асортименту і різного призначення [1]. Даний метод дозволяє виготовляти як комбіновані підошви, коли в одну й ту саму форму упорскується розплав полімерів різного кольору або з різними фізико-механічними властивостями [2], так і підошви, що містять різного роду вставки, які встановлюються в прес-формі перед процесом упорскування розплаву [3]. При цьому в обох випадках необхідно забезпечити задану міцність з'єднання між собою окремих елементів підошви, яка досягається лише при досягненні відповідних значень технологічних параметрів процесу лиття, особливо таких, як температура розплаву і тиск всередині прес-форми.

Під час заповнення прес-форми розплавом полімеру найважливішим параметром є його температура. Температура розплаву полімеру значною мірою впливає на його в'язкість, а отже, на його здатність рівномірно заповнювати оформлюючу порожнину прес-форми, що визначає якість готового виробу. Для забезпечення можливості керування величиною температури у прес-формі необхідно визначити закономірності, що встановлюють її залежність від вихідних параметрів процесу лиття.

Такими параметрами є температура розплаву на вході у прес-форму, тиск на вході у прес-форму та температура прес-форми. Температура розплаву у прес-формі також значною мірою залежить від її конструктивних особливостей – об'єму оформлюючої порожнини та її конфігурації.

***Об'єкти та методи дослідження***

Об'єктом дослідження є процес заповнення розплавом полімеру оформлюючої порожнини прес-форми, яка має канали круглого та прямокутного поперечного перерізу, при литті під тиском виробів складної конфігурації з металевими вставками.

Аналітичне дослідження неізотермічної течії розплаву під час заповнення прес-форми проводилось багатьма вченими з використанням різних підходів і методів [4-7]. Проте, вирішувались лише задачі математичного моделювання окремих режимів лиття – з постійним тиском на вході в прес-форму, або з постійною об'ємною витратою розплаву полімерного матеріалу; з врахуванням фазових переходів для випадку лиття полімерів, які кристалізуються, і без фазових переходів для аморфних полімерів. У зв'язку з цим, для отримання узагальнюючої математичної моделі, необхідно використати систему рівнянь, яка б задовільно описувала усі можливі режими лиття, з урахуванням природи полімеру та параметрів технологічного обладнання.

Для визначення температури розплаву і тиску в прес-формі під час її заповнення необхідно вирішити систему рівнянь, яка включає рівняння теплопровідності Фур'є, рівняння руху Нав'є-Стокса і

реологічне рівняння Оствальда де Вілля з граничними умовами, які визначаються геометричними параметрами і температурою оформлюючих поверхонь [6].

#### Постановка завдання

Розглянемо зміну температури розплаву і тиску по довжині каналів круглого і прямокутного перетину, в яких можуть бути встановлені антиковзні металічні вставки для експлуатації взуття в зимовий період, як показано на рис. 1.

Визначивши розподіл температури розплаву і тиску по довжині каналів, можна керувати процесом заповнення прес-форми з метою забезпечення умов виникнення з'єднання між полімерним матеріалом і металічними вставками, яке буде мати необхідну міцність.

На рис. 1 представлено взуття із шипами, призначене для використання на слизьких поверхнях [8]. Шипи розташовані на двох полімерних деталях-підковах, що прикріплені до взуття шарнірними кріпленнями. Ці деталі мають складну конфігурацію при невеликій площі поперечного перетину. При заповненні розплавом полімеру оформлюючої порожнини, що має форму вузького каналу, необхідно враховувати, що температура розплаву знижуватиметься дуже швидко. З метою визначення закономірностей охолодження розплаву розглянемо математичну модель заповнення оформлюючої порожнини прес-форми круглого перетину при прямолінійній течії розплаву.



Рис.1. Підшва антиковзного  
взуття, виготовлена з полімерних  
матеріалів з металевими  
вставками

#### Результати та їх обговорення

Вихідна система рівнянь для визначення розподілу тиску по довжині каналу має вигляд [4-7]:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{1}{r} \frac{d\tau}{dr}, \quad (1)$$

$$\tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial v_x}{\partial r} \right)^n \quad (2)$$

де  $P$  – тиск, Па;  $\tau$  – напруження зсуву, Па;  $\mu$  – коефіцієнт консистенції, Па·с;  $v$  – швидкість течії розплаву, м/с;  $n$  – індекс течії розплаву;  $x, y, r$  – поточні координати.

Граничні умови

$$v_x \Big|_{r=\pm R} = 0; \quad \frac{\partial v_x}{\partial y} \Big|_{r=0} = 0, \quad (3)$$

де  $R$  – радіус каналу, м;

Вирішення цієї системи рівнянь може бути представлено у вигляді:

$$\frac{dP}{dx} = 2\mu \left[ \frac{Q \left( \frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R_x^{\frac{1}{n} + 3}} \right]^n, \quad (4)$$

де  $Q$  – об’ємна швидкість заповнення прес-форми, м<sup>3</sup>/с.

Використаємо вираз для коефіцієнта консистенції розплаву:

$$\mu = \mu_0 \exp \left\{ b \left( T_0 - T_w \right) \right\} \quad (5)$$

де  $\mu_0$  відповідає температурі  $T_0$ .

Згідно з [9] середня температура циліндричного стержня:

$$\bar{T} = \frac{4}{2,4} \exp \left\{ -2,4 Fo \right\} \left( T_0 - T_w \right) + T_w, \quad (6)$$

де  $Fo = \frac{a\tau}{R^2}$  – критерій Фур’є. (7)

У цьому виразі  $a$  – коефіцієнт теплопровідності, м<sup>2</sup>/с;  $\tau$  – час охолодження розплаву в каналі при постійній об’ємній витраті.

Час охолодження розплаву:

$$\tau = \frac{x}{v}, \quad (8)$$

де  $x$  – поздовжня координата;  $v$  – середня швидкість течії розплаву в прес-формі.

Середня швидкість течії розплаву в прес-формі визначається

$$v = \frac{Q}{\pi R^2}. \quad (9)$$

де  $Q$  – об’ємна витрата розплаву, м<sup>3</sup>/с.

Підставляючи послідовно (9) в (8), (7), (6) отримуємо:

$$\mu = \mu_0 \exp \left\{ b \left( T_0 - T_w \right) \left[ 1 - \frac{4}{2,4} \exp \left( -2,4 \frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \right\} \quad (10)$$

Після підстановки (10) в (4) маємо:

$$P_0 - p = 2\mu_0 \left[ \frac{Q \left( \frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R^{\frac{1}{n} + 3}} \right]^n \int_0^x \exp \left\{ b \left( T_0 - T_w \right) \left[ 1 - \frac{4}{2,4} \exp \left( -\frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \right\} dx \quad (11)$$

Введемо заміну в (11):

$$\exp \left( -\frac{a\pi}{Q} x \right) = 1 - \frac{a\pi}{Q} x. \quad (12)$$

Після підстановки (12) в (11), маємо:

$$P_0 - p = 2\mu_0 \left[ \frac{Q \left( \frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R^n} \right]^n \int_0^x \exp \left\{ b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \left[ 1 - \frac{4}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \left( 1 - \frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \right\} dx \quad (13)$$

Введемо заміну в (13):

$$\exp \left\{ b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \left[ 1 - \frac{4}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \left( 1 - \frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \right\} \approx 1 + b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \left[ 1 - \frac{4}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \left( 1 - \frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \quad (14)$$

Після підстановки (14) в (13), маємо:

$$P_0 - p = 2\mu_0 \left[ \frac{Q \left( \frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R^n} \right]^n \int_0^x \left\{ 1 + b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \left[ 1 - \frac{4}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \left( 1 - \frac{a\pi}{Q} x \right) \right] \right\} dx \quad (15)$$

Після інтегрування (15) отримуємо:

$$\Delta p = P_0 = 2\mu_0 \left[ \frac{Q \left( \frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R^n} \right]^n \left\{ \left[ 1 + b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \left( 1 - \frac{4}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \right) \right] x + b \left( \frac{1}{n} + 3 \right) \frac{2}{\left( \frac{1}{n} + 3 \right)^2} \frac{a\pi}{Q} x^2 \right\} \quad (16)$$

На рисунках 2 і 3 наведені залежності температури від довжини каналу і об'ємної витрати розплаву.

На рис. 4 і 5 наведені залежності витрат тиску від довжини каналу і радіуса каналу.

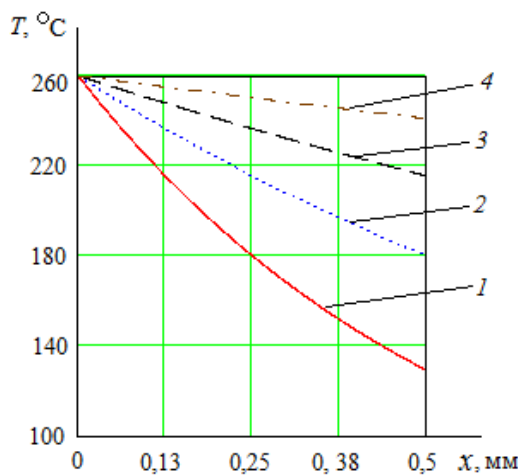


Рис. 2. Залежності температури розплаву у пресформі від довжини каналу при сталій об'ємній витраті розплаву

1 -  $Q = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ; 2 -  $Q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
3 -  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ; 4 -  $Q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$

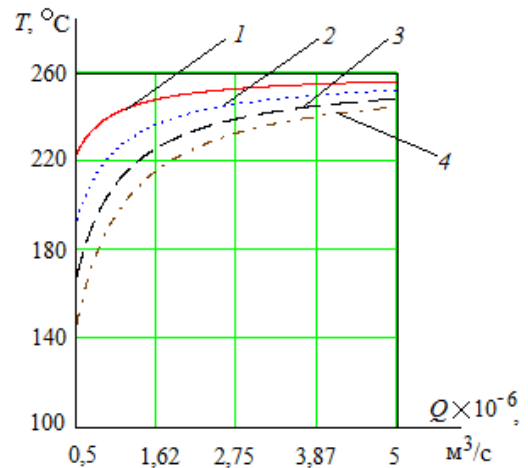


Рис. 3. Залежності температури розплаву у пресформі від об'ємної витрати розплаву на відстані від впускного отвору

1 -  $x = 0,1 \text{ м}$ ; 2 -  $x = 0,2 \text{ м}$ ;  
3 -  $x = 0,3 \text{ м}$ ; 4 -  $x = 0,4 \text{ м}$

**Висновки**

Як видно із графіків на рис. 2 та рис. 3, температура розплаву істотно знижується з віддаленням від впускного отвору, причому падіння температури тим більше, чим менша об'ємна витрата матеріалу. Встановлена залежність дозволяє визначити необхідну величину об'ємної витрати розплаву полімеру для забезпечення заданої температури в місці його контакту з металічними вставками, і, таким чином, впливати на міцність з'єднання.

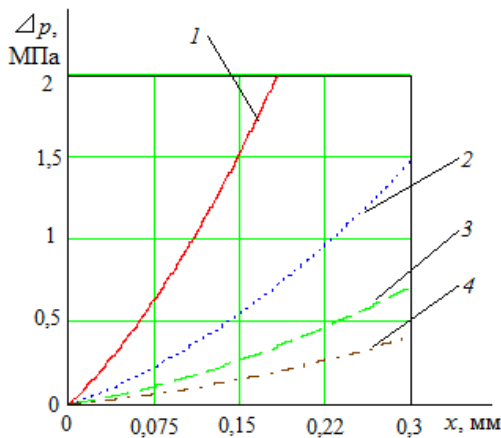


Рис. 4. Залежність витрат тиску від довжини каналу при радіусі каналу

1 –  $R = 2$  мм; 2 –  $R = 3$  мм;  
3 –  $R = 4$  мм; 4 –  $R = 5$  мм

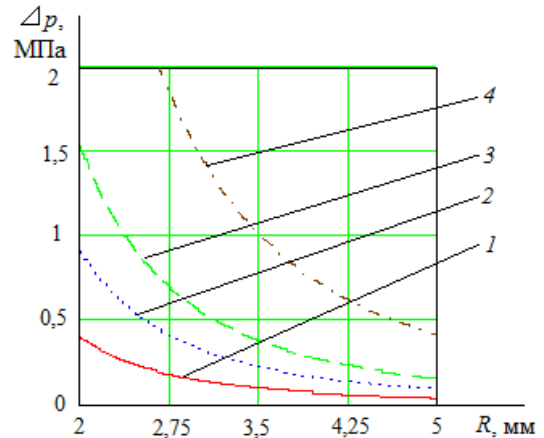


Рис. 5. Залежність витрат тиску від радіусу каналу на відстані від впускного отвору

1 –  $x = 0,005$  м; 2 –  $x = 0,1$  м;  
3 –  $x = 0,15$  м; 4 –  $x = 0,3$  м.

Із графіків на рис. 4 та рис. 5 видно, що втрати тиску збільшується з віддаленням від впускного отвору і будуть тим більшими, чим менший радіус оформлюючої порожнини прес-форми. Змінюючи розміри впускного отвору, можна також впливати на температуру розплаву і тиск всередині прес-форми.

Отже, встановлені у даній роботі закономірності дозволяють підібрати технологічні параметри лиття таким чином, щоб можна було забезпечити необхідні значення температури та тиску розплаву у прес-формі для рівномірного її заповнення. Це дасть можливість виготовляти підшви із заданим значенням міцності з'єднання металічних вставок з полімерним матеріалом при виготовленні антиковзного взуття.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Альтзицер В.С., Красовский В.Н., Меерсон В.Д. Производство обуви из полимерных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 232 с.
2. Кулік Т.І. Числове моделювання процесу заповнення прес-форми при литті комбінованих підшов взуття з підвищеними експлуатаційними показниками // Вісник КНУТД. – 2006. – №1. – с. 20–24.
3. Стронгин Б.М. Пректирование пресс-форм обувного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 120 с.

4. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьём под давлением. – М.:Химия,1974. – 271 с.
5. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. Пер. с англ. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
6. Басов Н. И., Казанков Ю. В. Литьевое формование полимеров. – М.: Химия, 1984. – 248 с.
7. Горнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 462 с.
8. Интернет-магазин <http://www.hammacher.com/Product/77249>
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. школа, 1967. – 599 с.