

УДК 675.92.027

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

Хімич С. М., Кулік Т. І.

Київський національний університет технологій і дизайну

*У статті представлені результати дослідження впливу технологічних параметрів процесу виготовлення полімерних деталей на їх якість. Показано вплив температури лиття та температури прес-форми на якість готового виробу. Запропоновано математичну модель процесу заповнення прес-форми, яка дозволяє визначити падіння температури розплаву по довжині течії у прес-формі. Наведені результати експериментального дослідження, що підтверджує розроблені теоретичні дані.*

**Ключові слова:** лиття під тиском, технологічні параметри процесу лиття, якість литого полімерного виробу

Сьогодні побутова техніка стала невід'ємною частиною життя людини. Якщо ще кілька десятків років тому останні новинки побутової техніки могли собі дозволити лише досить забезпечені люди, то в даний час доступність усіх основних категорій товарів побутової техніки дозволяє кожній родині мати, як мінімум, холодильник, телевізор, пральну машину та кухонну плиту. Крім того, існує значна кількість різноманітних пристосувань та помічників, що забезпечують комфорт у побуті людини і зменшують витрати часу та зусиль на ведення домашнього господарства: мікрохвильові печі, пилососи, кухонні комбайни, соковижималки, блендери, кавоварки, міксери, кавомолки, м'ясорубки і багато іншого роблять домашню роботу менш важкою і напруженою, а іноді навіть захоплюючою.

Високі експлуатаційні, ергономічні, естетичні та економічні показники побутової техніки в основному забезпечуються відповідною конструкцією та технологією її виготовлення, а також матеріалами, що використовуються у її виробництві. Велику роль у виробництві сучасної побутової техніки відіграють полімерні матеріали.

### **Постановка завдання**

На механічні властивості виробів із полімерних матеріалів значною мірою впливають параметри технологічного процесу лиття та конструкція технологічної оснастки. У зв'язку з цим удосконалення технологічного процесу лиття деталей для електропобутової техніки на основі контролю температурних параметрів для різних

типів полімерних матеріалів з різними механічними властивостями є актуальною задачею, вирішення якої пов'язане з підвищенням споживчих властивостей продукції, що виготовляється.

Об'єктом дослідження є технологічний процес лиття полімерних деталей побутової техніки. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології переробки полімерів, теплофізики, хімії, фізики та механіки полімерних матеріалів. Експериментальні дослідження процесу лиття деталей виконувались на реальному технологічному обладнанні з використанням спеціально розробленої оснастки та сучасних вимірювальних приладів. Обробка результатів експериментів виконувалася з застосуванням методів математичної статистики та теорії планування експерименту.

### *Результати досліджень*

Температура переробки полімеру визначає його в'язкість, а отже, й здатність рівномірно заповнювати прес-форму, утворюючи якісний міцний виріб з однорідною структурою. При недостатньо високій температурі лиття виріб у прес формі може охолоджуватися занадто швидко, у результаті чого можливе отримання бракованих виробів із недоливом (рис. 1).



**Рис. 1. Полімерні втулки з дефектами, що утворилися внаслідок зниженої температури переробки**

При перегріванні розплаву полімеру відбувається його термічна деструкція, у результаті виріб буде неоднорідним та крихким і виявиться непридатним для використання (рис. 2).

Отже, правильний вибір параметрів технологічного процесу лиття під тиском, а саме температури лиття та температури прес-форми, є важливим завданням, вирішення якого дозволить отримати якісні вироби із полімерних матеріалів.



Рис. 2. Термічна деструкція полімерного матеріалу

Схема заповнення прес-форми розплавом полімерного матеріалу наведена на рис. 3

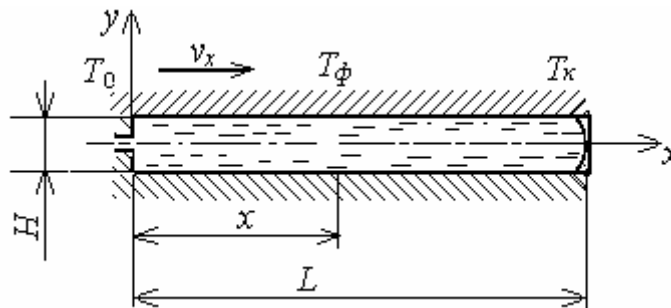


Рис. 3. Схема заповнення прес-форми розплавом полімеру під час лиття

Теплообмін розплаву зі стінками прес-форми в процесі її заповнення описується рівнянням енергії у вигляді [1]

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1)$$

з граничними умовами

$$T|_{x=0} = T_0; \quad T|_{y=\pm \frac{H}{2}} = T_\phi; \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad (2)$$

де  $T$  – температура розплаву, К;  $t$  – час, с;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;  $T_\phi$  – температура стінок прес-форми, К;  $T_0$  – температура розплаву на вході в прес-форму, К;  $T_k$  – температура розплаву в кінці заповнення, К;  $v$  – швидкість течії, м/с.

Виділимо в розплаві ділянку нескінченно малої довжини  $\Delta x$ , що рухається з середньою швидкістю течії. Нехтуючи теплообміном цієї ділянки в напрямку осі  $x$ , перетворимо рівняння (1) до виду:

$$\frac{\partial T}{\partial t_x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (3)$$

де  $t_x$  – час охолодження виділеної ділянки розплаву, с.

Вирішення рівняння (3) при граничних умовах (2) дає розподіл температури по висоті прес-форми:

$$T \approx \frac{4}{\pi} \cos\left(\pi \frac{y}{H}\right) e^{-gt_x} (T_0 - T_\phi) + T_\phi, \quad (4)$$

де  $g = 10a/H^2$  – параметр, що залежить від теплофізичних властивостей полімерного матеріалу та висоти прес-форми,  $\text{с}^{-1}$ .

За умов течії при постійній об'ємній витраті розплаву лінійна швидкість заповнення дорівнюватиме:

$$v = \frac{Q}{BH}, \quad (5)$$

де  $Q$  – об'ємна витрата розплаву в процесі заповнення прес-форми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $B$  – ширина прес-форми, м;  $H$  – висота прес-форми, м.

За тих самих умов час перебування довільної ділянки розплаву в оформлюючій порожнині виразиться у вигляді:

$$t_x = \frac{x}{v}. \quad (6)$$

Підставивши послідовно (5) в (6) і (4), отримаємо:

$$T = \frac{4}{\pi} \cos\left(\pi \frac{y}{H}\right) e^{-\frac{gBH}{Q}x} (T_0 - T_\phi) + T_\phi. \quad (7)$$

Проведемо осереднення температури розплаву по висоті прес-форми:

$$\bar{T} = \frac{2}{H} \int_0^{\frac{H}{2}} T = \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{gBH}{Q}x} (T_0 - T_\phi) + T_\phi. \quad (8)$$

Вираз (8) дозволяє визначити температуру розплаву у кінці прес-форми при підстановці значення  $x = L$ :

$$T_k = \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{gBH}{Q}L} (T_0 - T_\phi) + T_\phi. \quad (9)$$

Падіння температури розплаву полімеру по довжині течії у прес-формі представлено на рис. 4.

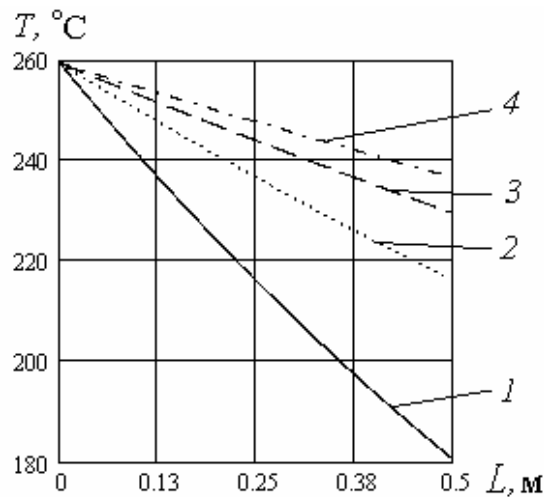


Рис. 4. Теоретичні залежності температури розплаву поліетилену низької густини від довжини його течії у прес-формі:  
 $1 - H = 2 \cdot 10^{-3}$  м;  $2 - H = 3 \cdot 10^{-3}$  м;  $3 - H = 5 \cdot 10^{-3}$  м;  $4 - H = 7,5 \cdot 10^{-3}$  м.

З метою визначення зниження температури по довжині прес-форми були проведені експериментальні дослідження [2]. Експеримент виконано на реальному виробничому обладнанні – на литтєвому пресі марки МЛВ-32. Технологічна оснастка представляє собою прес-форму (рис. 5) для виготовлення пластикових втулок (рис. 6).



Рис. 5. Прес-форма для виготовлення втулок

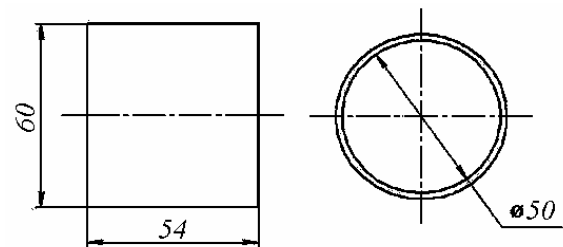


Рис. 6. Експериментальний зразок

У прес-формі виконані отвори у верхній та нижній частинах для закріплення термопар ТР-01А. Термопары під'єднуються до автоматичного самопишучого потенціометра ПС1-04. Дана конструкція дозволяє слідкувати за зміною температури у визначених точках в процесі заповнення та охолодження прес-форми. На рис. 7 продемонстрований запис із приладу ПС1-04, що показує зміну температури у верхній та нижній частині прес-форми.

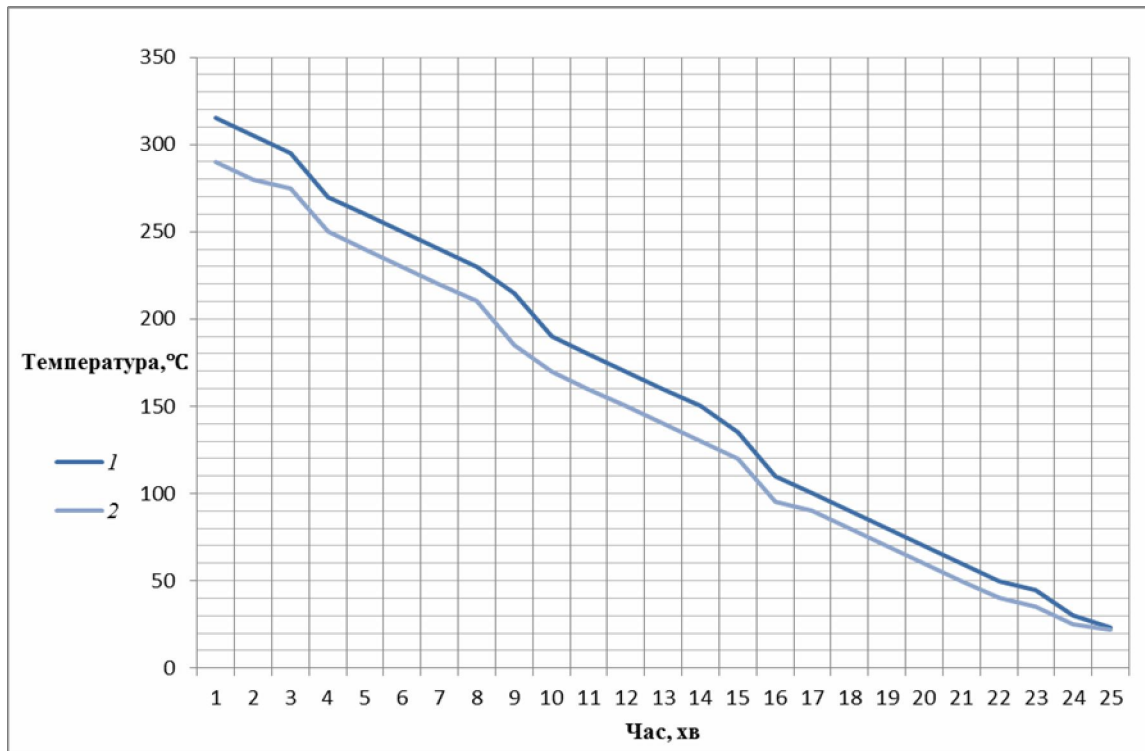


Рис. 7. **Графік зміни температури розплаву у прес формі:**  
1 – температура розплаву на вході в прес форму; 2 – температура розплаву у кінці заповнення прес-форми

### **Висновки**

Із побудованих графіків видно, що температура на вході в прес-форму суттєво відрізняється від температури в кінці заповнення. На відстані 60 мм при товщині виробу 5 мм спостерігалось падіння температури на 25 °C. При цьому експериментальні дані добре узгоджуються із теоретичними, що підтверджує правомірність отриманої моделі.

Встановивши закономірності зниження температури розплаву по довжині течії, можна прогнозувати, у якій частині виробу почнеться склування полімеру. Це дозволить спроектувати оптимальну конструкцію прес-форми, визначивши необхідну кількість впускних отворів, та розташувавши їх таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення прес-форми для отримання якісних виробів.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Басов Н. И. Литьевое формование полимеров / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков. – М.: Химия, 1984. – 248 с.
2. Барвинский И. А. Справочник по литьевым термопластичным материалам [Електронний ресурс] / И. А. Барвинский, И. Е. Барвинская. – 2013. Режим доступу: <http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials.htm>

**Химич С. М., Кулик Т. И.**

***Исследование процесса литья полимерных деталей электробытовой техники***

*Київський національний університет технологій і дизайну*

*В статье представлены результаты исследования влияния технологических параметров процесса литья полимерных деталей на их качество. Показано влияние температуры литья и температуры пресс-формы на качество готового изделия. Предложена математическая модель процесса заполнения пресс-формы, которая позволяет рассчитать падение температуры расплава по длине течения в пресс-форме. Приведены результаты экспериментального исследования, подтверждающие полученные теоретические данные.*

**Ключевые слова:** *литье под давлением, технологические параметры процесса литья, качество литого полимерного изделия*

**Khimych S. M., Kulik T. I.**

***Investigation of the process of casting resin parts of electrical appliance***

*Kyiv National University of Technology & Design*

*The article presents the results of investigation of technological parameters of injection molding of polymeric parts on their quality. There is shown influence of melt temperature and mold temperature on the quality of the finish product. Proposed the mathematical model of the process of filling the mold, which allows to calculate the temperature drop along the length of the melt flow in the mold. The results of experimental investigation confirming the theoretical data.*

**Key words:** *injection molding, technological parameters of the molding process, the quality of molded polymer products*