

токарных станках / Лещев В.С. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа "Ролтом". – № 93003815/08–93 ; заявл. 25.01.1993 ; опубл. 27.03.1996, Бюл. № 2.

6. Семинский В.К. Приспособления и инструменты для токарных работ / П.Т. Вирченко, С.А. Платонов. – К. : Техника 1977.

7. Декларацийний патент на корисну модель 116147 Україна, МПК В23В5/00. Пристрій для точіння зовнішніх сферичних поверхонь / Косіюк М.М., Костюк С.А. ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Мазур М.П.

УДК 675.92.027

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Ю.С. ГРЕЧУХА

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ЧАСТИН ЛИТИХ КОМБІНОВАНИХ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Проаналізовано існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском. Метою даної роботи є створення методу прогнозування конфігурації частин комбінованих виробів на основі числового моделювання процесу заповнення прес-форми з урахуванням технологічних параметрів різних полімерних матеріалів. Для проведення експериментальних досліджень були вибрані полімерні матеріали, які широко використовуються в сучасному виробництві для лиття деталей низу взуття: термоеластопласт, пластифікована суміш на основі полівінілхлориду, поліетилен і полістирол. Експериментально підтверджена гіпотеза про можливість підвищення експлуатаційних показників комбінованих виробів за рахунок цілеспрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу шляхом керування параметрами технологічного процесу лиття.*

**Ключові слова:** полімерні матеріали, лиття деталей низу взуття, фізико-механічні властивості полімерного матеріалу, параметрами технологічного процесу лиття.

N.N. ZASHCHEPKINA, Y. S. GRECHUKHA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

T. I. KULIK, M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

## PREDICTION OF THE QUALITY AND CONFIGURATION OF CAST PARTS, COMPOSITE POLYMER MATERIALS

*Analyzed the existing methods of mathematical simulation of processes of casting under pressure. The aim of this work is to create a method of predicting the configuration of the parts of combined products based on numerical modelling of process of filling of the mold based on process parameters of various polymeric materials. For experimental researches were selected polymeric materials, which are widely used in modern manufacturing for molding of Shoe bottom parts: thermoplastic, plasticized mixture based on polyvinyl chloride, polyethylene and polystyrene. Experimentally confirmed the hypothesis about possibility of increase of operational indicators of combined products due to the purposeful change of physical and mechanical properties of the polymer material by controlling the parameters of technological process of casting.*

**Key words:** polymeric materials, molding Shoe bottom parts, physical and mechanical properties of the polymer material, the process parameters of the casting.

### Вступ

При литті полімерних виробів виникають відходи у вигляді матеріалу, що затвердіває у ливникових каналах. Особливо значний об'єм таких відходів має місце у взуттєвій промисловості, де при литті підшов використовують прес-форми із розвиненою системою розвідних та тунельних ливникових каналів.

Деяка частина подрібнених відходів може використовуватись як домішки до основного полімерного матеріалу для вторинного використання в процесі лиття під тиском. При цьому фізико-механічні характеристики вилитих виробів дещо погіршуються через часткову термодеструкцію вторинної сировини. Тому такий матеріал доцільно використовувати для виготовлення деталей, або їх частин, які не несуть значних навантажень в процесі експлуатації.

Оскільки в процесі носіння взуття середина і край каблука підшви підлягають інтенсивному зношуванню, доцільно вилити ці частини із первинного полімерного матеріалу, а для виливання решти підшви можна застосувати первинний матеріал із додаванням вторинного.

При цьому, якщо заповнення прес-форми відбувається із двох матеріальних циліндрів з різним складом матеріалу, необхідно забезпечити затікання відповідних розплавів у задані області оформлюючої порожнини.

### Аналіз стану проблеми

Відображені в роботах [1–3] існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском

не дозволяють визначити конфігурацію часин комбінованих виробів тому, що вони засновані на аналізі одновірної неізотермічної течії не ньютонівської рідини і не враховують зміну форми фронту розплаву в площині роз'єму прес-форми. В роботі [4] було показано, що характер розтікання полімерного матеріалу в процесі заповнення прес-форми досить точно описується числовим моделюванням в ньютонівському ізотермічному наближенні, тобто, при використанні поняття ефективного в'язкості розплаву.

#### Постановка завдання

Метою даної роботи є створення методу прогнозування конфігурації частин комбінованих виробів на основі числового моделювання процесу заповнення прес-форми з урахуванням технологічних параметрів різних полімерних матеріалів.

#### Результати дослідження

Основними рівняннями, що описують плоску течію нестиглої ньютонівської в'язкої рідини зі сталими властивостями при відсутності зовнішніх сил, є два рівняння кількості руху (рівняння Нав'є - Стокса) та рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

де  $u$ ,  $v$  – складові швидкості;  $P$  – тиск;  $\rho$  – густина розплаву;  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Ведемо нову змінну  $\varphi = \frac{P}{\rho}$  і перепишемо рівняння (1) і (2) у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right); \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right); \quad (5)$$

Диференціюючи (4) по  $y$ , а (5) по  $x$  і додаючи отримані рівняння, отримаємо рівняння Пуассона:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\frac{\partial D}{\partial t} - u \cdot \frac{\partial D}{\partial x} - v \cdot \frac{\partial D}{\partial y} + \nu \cdot \nabla^2 D, \quad (6)$$

де  $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$  – дивергенція швидкості.

Для високов'язких розплавів полімерних матеріалів рівняння (4) і (5) можна представити у вигляді [5]:

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0, \quad (10)$$

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Якщо знехтувати стисливістю розплавів полімерних матеріалів, то рівняння (6) можна представити у вигляді рівняння Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = 0. \quad (12)$$

Основні кінцево-різницеві формули для частинних похідних можна отримати за допомогою розкладання в ряди Тейлора. Прямокутна сітка, що використовується представлена на рис. 1.

Нижні індекси  $i$  та  $j$  відносяться до  $x$  та  $y$ , а верхній індекс  $p$  відповідає часовому шару. Кроки сітки в напрямках  $i$  та  $j$  позначаються через сталі  $\Delta x$  та  $\Delta y$  відповідно. Змінна  $f$  означає деяку функцію.

Форми однобічних різницевих представлень

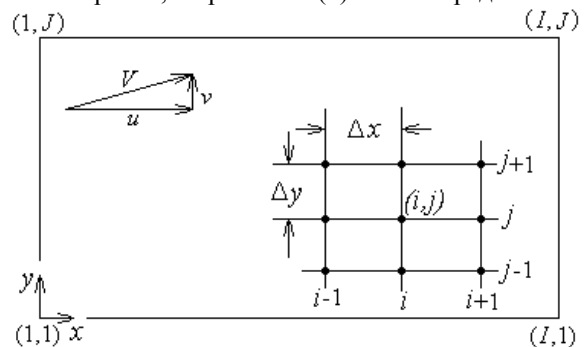


Рис. 1. Прямокутна кінцево-різницева сітка

для першої похідної  $\partial f / \partial x$  можна вивести наступним чином. Враховуючи неперервність похідних, розкладаючи  $f_{i+1,j}$  в ряд Тейлора в околі точки  $(i, j)$  та опускаючи для спрощення верхній (часовий) індекс, отримуємо:

$$\begin{aligned} f_{i+1,j} &= f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} (x_{i+1,j} - x_{i,j}) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} (x_{i+1,j} - x_{i,j})^2 + \dots = \\ &= f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \text{ЧВП}, \end{aligned} \tag{13}$$

де ЧВП – члени вищих порядків.

Розв’язуючи (13) відносно  $\partial f / \partial x$ , отримуємо:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x} - \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x + \text{ЧВП}, \text{ або } \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x} + O(\Delta x), \tag{14}$$

де запис  $O(\Delta x)$  – член порядку  $\Delta x$ , який відноситься до членів, що містять множники  $\Delta x, \Delta x^2$  тощо.

Позначимо кінцево-різницевий аналог  $\partial f / \partial x$  через  $\delta f / \delta x$ . Тоді для  $\delta f / \delta x$  при різницевій апроксимації вперед отримаємо вираз:

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x}, \tag{15}$$

з помилкою апроксимації порядку  $\Delta x$ , тобто з першим порядком точності.

Розкладаючи  $f_{i,j}$  в околі точки  $(i, j)$ , отримуємо для  $\delta f / \delta x$  вираз при різницевій апроксимації назад:

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i,j} - f_{i-1,j}}{\Delta x}, \tag{16}$$

який також має перший порядок точності. Центральна (симетрична) різницева апроксимація  $\delta f / \delta x$  отримується як різниця розкладів:

$$f_{i+1,j} = f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \frac{1}{24} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + O(\Delta x^5) \tag{17}$$

$$f_{i-1,j} = f_{i,j} - \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 - \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \frac{1}{24} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + O(\Delta x^5) \tag{18}$$

Віднімаючи (18) із (17), отримуємо:

$$f_{i+1,j} - f_{i-1,j} = 2 \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{3} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \text{ЧВП}.$$

Розв’язуючи відносно  $\partial f / \partial x$ , маємо:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x} - \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \text{ЧВП} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2). \tag{19}$$

Таким чином, центральна різницева апроксимація дає вираз

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x}. \tag{20}$$

з помилкою апроксимації порядку  $\Delta x^2$ , тобто з другим порядком точності. Аналогічно можна отримати вирази для похідних по  $y$  та  $t$ , наприклад центрально-різницевий аналог  $\partial f / \partial t$  має вигляд

$$\left. \frac{\delta f}{\delta t} \right|_{i,j}^n = \frac{f_{i,j}^{n+1} - f_{i,j}^{n-1}}{2\Delta x}. \tag{21}$$

Виведемо тепер центрально-різницевий аналог  $\partial^2 f / \partial x^2$ . Просумувавши (17) та (18), маємо:

$$f_{i+1,j} + f_{i-1,j} = 2f_{i,j} + 2 \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + \text{ЧВП}. \tag{22}$$

Розв'язуючи (22) відносно  $\partial^2 f / \partial x^2$ , отримуємо:

$$\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2f_{i,j}}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2). \quad (23)$$

З (23) для  $\delta^2 f / \delta x^2$  маємо:

$$\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2f_{i,j}}{\Delta x^2} \quad (24)$$

з другим порядком точності.

Для числового моделювання процесу заповнення прес-форми використаємо метод маркерів і комірок (МАК) [4]. Структура комірки в методі МАК представлена на рис. 2.

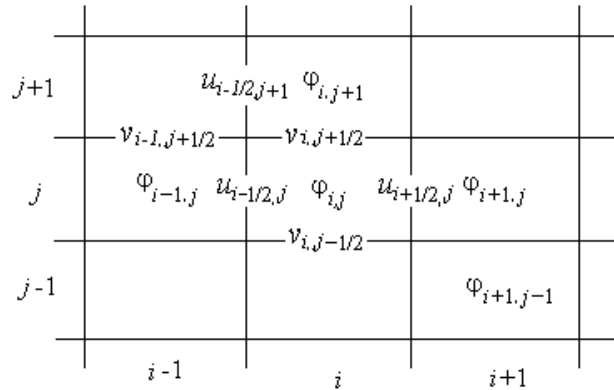


Рис. 2. Система комірок та позиції для розрахунку в методі маркерів та комірок

Тоді різницеві аналоги рівнянь руху (10) і (11), нерозривності (3) і рівняння Лапласа (12) матимуть вигляд [6, 7]:

$$\frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i+1,j}}{h} + \nu \cdot \left[ \frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i,j+1}}{h} + \nu \cdot \left[ \frac{v_{i+1,j} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i-1,j}}{h^2} + \frac{v_{i,j+1} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0, \quad (26)$$

$$\frac{1}{h} \cdot (u_{i,j} - u_{i-1,j} + v_{i,j} - v_{i,j-1}) = 0, \quad (27)$$

$$\frac{\varphi_{i+1,j} - 2 \cdot \varphi_{i,j} + \varphi_{i-1,j}}{h^2} + \frac{\varphi_{i,j+1} - 2 \cdot \varphi_{i,j} + \varphi_{i,j-1}}{h^2} = 0. \quad (28)$$

На рис. 3 наведені результати числового моделювання технологічного процесу заповнення прес-форми при литті під тиском підшов з полівінілхлориду ПЛП – 2 із домішками вторинного матеріалу і без них.

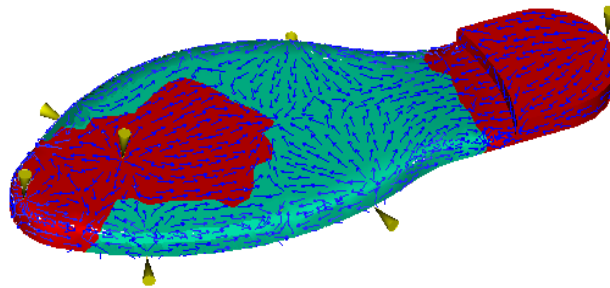


Рис. 3. Розташування частин з різних полімерних матеріалів в підшові

З рисунка видно, що одночасне упорскування в прес-форму забезпечує отримання комбінованої підшви, яка має зносостійкі частини із первинного матеріалу, розташовані в ділянках, що піддаються найінтенсивнішому зношуванню. При цьому решта підшви виготовлена із додаванням вторинного матеріалу. Конфігурація частин таких виробів може змінюватися шляхом визначення місць розташування

впускних отворів за допомогою числового моделювання процесу заповнення прес-форми.

Використання вторинного матеріалу при литті під тиском пов'язано із зменшенням міцності не лише вилівка, а й місць спаїв, які виникають в ньому при зустрічі різних потоків розплаву. Для забезпечення заданої міцності спаїв частин із первинного матеріалу та первинного із додаванням 12 % об'єму вторинного проводились експериментальні дослідження за допомогою експериментальної установки (рис. 4), яка дозволяє змінювати в широких межах основні технологічні параметри процесу лиття – тиск лиття, температуру розплаву та температуру прес-форми. Установка складається з литтєвого пресу 1 марки МЛВ-32 та спеціально розробленої прес-форми 2.

Температура розплаву в матеріальному циліндрі 3 преса 1 задається і контролюється за допомогою електронного приладу 4 марки ЭВ 3000К з термопарою 5 типу ТХК. Тиск в циліндрі вузла упорскування задається за допомогою дроселя гідросистеми литтєвого преса 1 і контролюється манометром 6 марки МПЗ-У. Технічна характеристика експериментальної установки наведена в табл. 1.

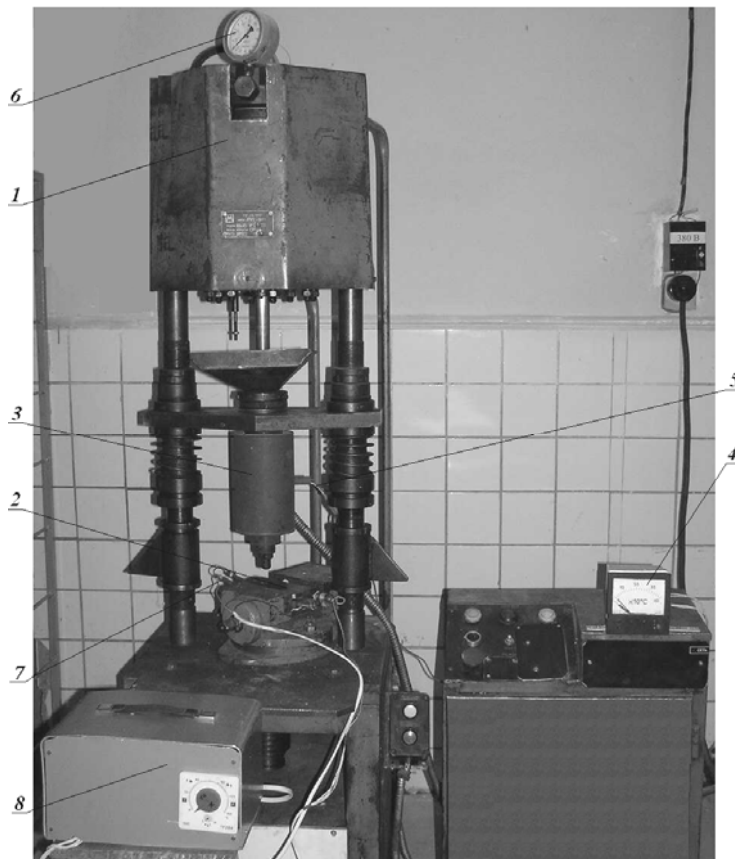


Рис. 4. Експериментальна литтєва установка: 1 – литтєвий прес; 2 – прес-форма; 3 – матеріальний циліндр; 4 – прилад ЭВ для контролю температури; 5 – термопара; 6 – манометр; 7 – електронагрівачі прес-форми; 8 – блок живлення електронагрівачів прес-форми

Таблиця 1

**Технічна характеристика експериментальної литтєвої установки**

Найменування параметрів	Кількісні показники
1. Температура лиття, °С	до 300
2. Максимальний тиск лиття, МПа	10
3. Максимальний об'єм упорскування, м3	6,3·10 <sup>-5</sup>
4. Максимальна об'ємна швидкість, см3/с	200

На рис. 5 представлена прес-форма для виготовлення зразків, які відповідають ГОСТ 270-75, призначених для визначення міцності з'єднання частин комбінованих виробів. Експериментальна прес-форма складається з пуансона 1 та кришки 2. Температура прес-форми задається і контролюється системою термостатування, яка містить трубчасті електронагрівачі 3 та термопару платина-платинародій 4 з блоком живлення 5 з приладом ТРЕ-10У.

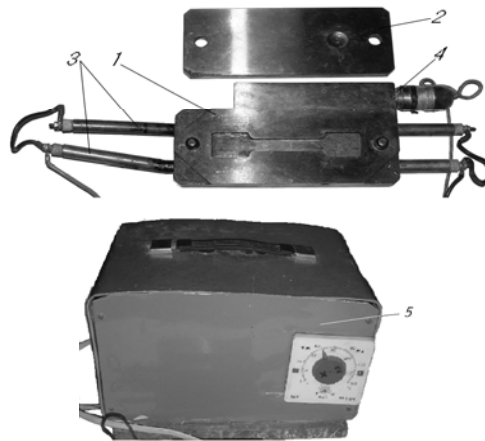


Рис. 5. Експериментальна прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів: 1 – пуансон; 2 – кришка; 3 – електронагрівачі; 4 – термopара; 5 – блок живлення системи термостатування

Перше упорскування здійснюється в прес-форму зі вставкою, яка забезпечує виливання першої частини зразка (рис. 6). Після цього вставка видаляється, на її місце встановлюється попередньо вилита перша частина, і здійснюється упорскування для виливання другої частини зразка (рис. 7). В результаті отримується зразок з границею розподілу між першою і другою частинами.

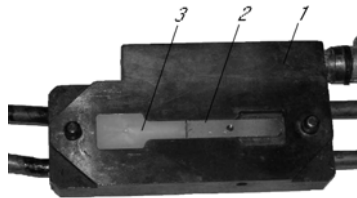


Рис. 6. Прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів зі вставкою і вилитою першою частиною зразка: 1 – прес-форма; 2 – вставка; 3 – попередньо вилита частина зразка

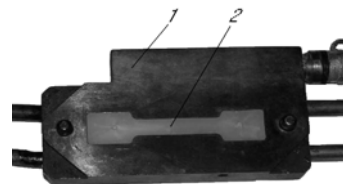


Рис. 7. Прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів з вилитим зразком: 1 – прес-форма; 2 – комбінований зразок

Для проведення експериментальних досліджень були вибрані полімерні матеріали, які широко використовуються в сучасному виробництві для лиття деталей низу взуття: термоеластопласт, пластифікована суміш на основі полівінілхлориду, поліетилен і полістирол. Характеристики вказаних матеріалів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

#### Технологічні властивості литєвих термопластів

Матеріал	Температура розплаву, °С	Температура форми, °С	Тиск лиття, МПа
Термоеластопласт TPR*А*2 UKRAYNA	160 – 200	20 – 75	70 – 95
Полівінілхлорид-пластикат ОПЛП-2	150 – 180	20 – 60	15 – 150
Поліетилен низького тиску ГОСТ 16338 – 77	240 – 270	30 – 70	50 – 140
Полістирол удароміцний ОСТ 6-05-406–75	180 – 230	40 – 70	100 – 150

Дослідження впливу технологічних параметрів лиття на дифузійні явища в зоні контакту комбінованих виробів проводилися за допомогою растрового електронного мікроскопу JSM-840 фірми JEOL, Японія. Цей прилад призначений для вивчення структури та по елементного аналізу металевих та неметалевих матеріалів, а також для отримання в світлі обернено-розсіяних електронів композиційного та топографічного зображення.

Принцип дії приладу як в режимі растрового електронного мікроскопа, так і в режимі рентгенівського мікроаналізатора полягає у взаємодії сфокусованого пучка електронів з атомами

поверхневого шару матеріалів, що досліджуються. Пучок електронів, рухаючись по поверхні зразка, утворює растр, подібний до телевізійного.

При взаємодії електронного пучка (зонду) зі зразком генеруються сигнали, виявлення та збір яких спеціальними пристроями дозволяють вибрати відповідний режим зображення.

Прилад JSM-840 (рис. 8) складається з власне растрового мікроскопа, енергодисперсійного спектрометра системи "Link" та хвильового спектрометра "Ortec". Прилад оснащений платою захвату відеозображення Micro Capture, яка дозволяє отримувати зображення в відцифрованому вигляді для передачі його на персональний комп'ютер з наступним редагуванням програмою аналізу зображень Image Pro. Дослідження якості виробів також можливо проводити з використання телевізійних засобів вимірювання [8-10].



Рис. 8. Прилад JSM-840

На отриманих зображеннях (рис. 9) видно, що границі з'єднання частин комбінованого виробу розмиті. При цьому дослідження показали, що із збільшенням температури прес-форми і розплаву полімерного матеріалу ширина границь збільшується. У зв'язку з цим можна стверджувати, що гіпотеза про дифузійний механізм аутогезійного з'єднання частин отримала експериментальне підтвердження.



Рис. 9. Зображення границі з'єднання частин комбінованого виробу при збільшенні у 200 разів (а) і у 1000 разів (б)

Контакт розплаву з твердим полімерним матеріалом при послідовному литті приводить до зниження температури протікання процесу спаювання частин комбінованих виробів. Збільшення ж температури розплаву вище деякого значення може викликати термічну деструкцію матеріалу, в результаті чого ділянка зі спаєм послаблюється внаслідок руйнування самого матеріалу. Тому важливо знайти якомога вищу температуру розплаву, при якій відбувається утворення міцного спаю. З цією метою були проведені однофакторні експерименти з використанням найпоширеніших взуттєвих полімерних матеріалів: ТЕП, ПВХ, ПЕНТ. При цьому для досягнення найбільшого значення температури в зоні спаю попередньо вилита частина зразка нагрівалась до максимальної температури, при якій зберігалася її зовнішня форма, що складала для ТЕП –  $T_w = 80 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; ПВХ –  $T_w = 120 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; ПЕНТ –  $T_w = 110 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . В результаті статистичної обробки результатів експериментів отримані рівняння регресії, які описують залежності міцності з'єднання частин комбінованого виробу від температури розплаву:

для ТЕП

$$\sigma = -146,0 + 1,461 \cdot T - 3,59 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (30)$$

для ПВХ

$$\sigma = -156,7 + 1,686 \cdot T - 4,39 \cdot 10^{-3} \cdot T^2; \quad (31)$$

для ПЕНТ

$$\sigma = -593,4 + 4,639 \cdot T - 8,83 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (32)$$

Графічні залежності, побудовані за рівняннями (30-32), наведені на рис. 10.

Як видно з рис. 10, максимальне значення міцності з'єднання частин комбінованого виробу досягається при температурі розплаву ТЕП – 200-205 °С; ПВХ – 190-195 °С, ПЕНТ – 260-265 °С. Зі збільшенням температури розплаву спостерігається зменшення міцності з'єднання частин виробу, викликане термодеструкцією полімерного матеріалу.

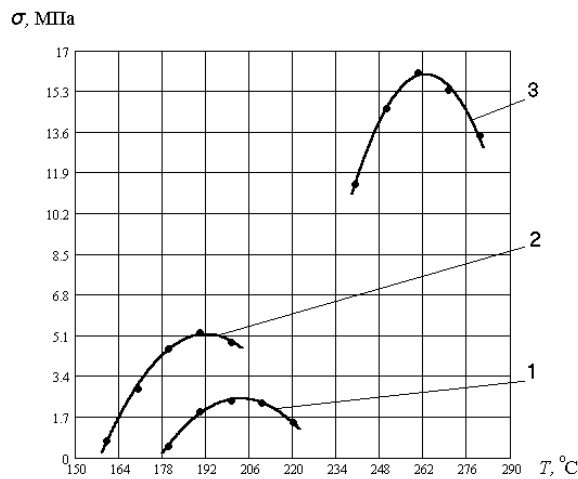


Рис. 10. Залежності міцності з'єднання частин комбінованого виробу від температури розплаву: 1 – ТЕП; 2 – ПВХ; 3 – ПЕНТ

### Висновки

Числове моделювання процесу заповнення прес-форми за допомогою методу МАС дозволяє визначити якість та конфігурацію частин комбінованого виробу, якщо відома конфігурація оформлюючої порожнини прес-форми і місця розташування впускних отворів. Задана конфігурації частин з різних полімерних матеріалів може бути забезпечена визначенням відповідної конструкції прес-форми за допомогою числового моделювання процесу її заповнення. Так, розташування у носковій, каблучній і пучковій зонах комбінованих підошов первинного матеріалу, а в решті об'єму – первинного із додаванням вторинного є необхідним для забезпечення високих експлуатаційних показників взуття таких, як зносостійкість і гнучкість в умовах рециклінгу відходів при литті підошов взуття.

Встановлено, що максимальна міцність з'єднання частин комбінованих виробів відповідає температурі попередньо вилитої частини з ТЕП –  $T_w = 80 \pm 2^\circ\text{C}$ , з ПВХ –  $T_w = 120 \pm 2^\circ\text{C}$ , з ПЕНТ –  $T_w = 110 \pm 2^\circ\text{C}$  і температурі розплаву ТЕП – 200–205 °C, ПВХ – 190–195 °C, ПЕНТ – 260–265 °C.

Експериментально підтверджена гіпотеза про можливість підвищення експлуатаційних показників комбінованих виробів за рахунок цілеспрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу шляхом керування параметрами технологічного процесу лиття.

### Література

1. Басов Н. И. Литьевое формование полимеров / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков. – М. : Химия, 1984. – 248 с.
2. Тадмор З. Теоретические основы переработки полимеров / Тадмор З., Гогос К. ; пер. с англ. – М. : Химия, 1984. – 632 с.
3. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьём под давлением / Лапшин В.В. – М. : Химия, 1974. – 271 с.
4. Числові методи математичного моделювання в створенні технологічної оснастки для лиття виробів з полімерних матеріалів / [Бурмістенков О.П., Злотенко Б.М., Скиба М.Є., Синюк О.М.]. – Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2002. – 148 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – 5-е изд. – М. : Наука, 1978. – 736 с.
6. Самарский А.А. Методы решений сеточных уравнений / Самарский А.А., Николаев Е.С. – М. : Мир, 1981. – 626 с.
7. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М. : Наука, 1983. – 616 с.
8. Защепкіна Н.М. Застосування телевізійних засобів контролю технологічного обладнання / Н.М. Защепкіна, В.А. Порев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 37–41.
9. Защепкіна Н.М. Метод контролю пилопроникності матеріалів із застосуванням телевізійно-інформаційної вимірювальної системи / Защепкіна Н.М., Мелконян А.А., Недобойко С.О. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1. – С. 90–92.
10. Защепкіна Н.М. Методика проведення експертизи технологічних процесів легкої промисловості / Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – К. : КНУТД, 2015. – 4(88). – С. 126–131.

Отримана/Received : 3.11.2014 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.  
Статтю представляє д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.