

УДК 685.34.023

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ  
ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Безсмертна Т. В., Злотенко Б. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Вдосконалити технологічний процес лиття під тиском деталей взуття із підвищеними експлуатаційними показниками за рахунок диференційованого використання в них полімерних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями із врахуванням основних технологічних факторів та конструктивних параметрів технологічної оснастки.

**Методика.** Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології взуттєвого виробництва, математичного моделювання, механіки рідини, теплофізики, фізики та механіки полімерних матеріалів.

**Результати.** Експериментальні дослідження з прогнозованими властивостями виконувались за допомогою комп'ютерної програми Solid Works.

**Наукова новизна.** На основі комплексних досліджень встановлені закономірності та розроблені основи технологічного процесу лиття взуттєвих виробів з підвищеними експлуатаційними показниками за рахунок диференційованого використання в них полімерних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями шляхом керування технологічними параметрами.

**Практична значимість.** Досліджено інтенсивність зношування і кількості циклів багаторазового згину, що передують руйнуванню від втоми.

**Ключові слова:** лиття полімерів, лита підошва, прес-форма, технологічний процес, технологія взуття

У взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості широко використовуються формовані деталі і вироби з полімерних матеріалів, отримані методом лиття під тиском. Інжекційне формування – технологічний процес виготовлення виробів з пластмас, що базується на заповненні формувальної порожнини прес-форми розплавом з подальшим його ущільненням за рахунок тиску з охолодженням [1]. Таким методом можна виготовляти вироби будь-якої складності за формою, практично, без втрат матеріалу. Проте, лиття під тиском – це складний процес, здійснення якого потребує громіздких обчислень при визначенні технологічних параметрів та конструкції прес-форми.

Підошва – один з найважливіших частин взуття, яка оберігає її від зносу і багато в чому визначає термін її служби. Саме підошва піддається інтенсивним механічним впливам, і багатократним деформаціям. Тому матеріали, що застосовуються для виготовлення підошов, повинні бути максимально стійкими до впливу навколишнього середовища та

постійно діючих експлуатаційних навантажень. Підшва взуття повинна бути одночасно пружною і гнучкою, а також мати достатню жорсткість та міцність (рис. 1).

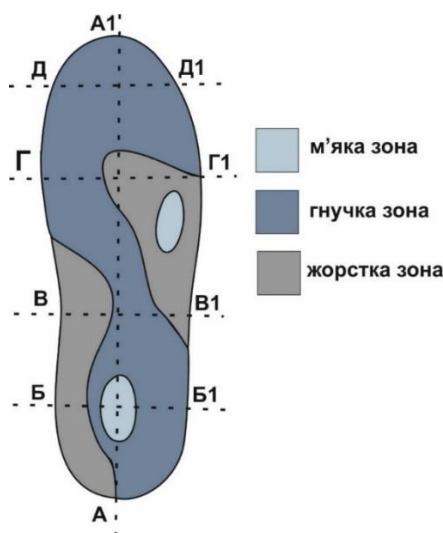


Рис.1. Схема підошви з областями різної щільності

Забезпечення міцності має важливе значення при проектуванні взуття, оскільки підошва сприймає різні види деформацій, такі як багаторазовий згин, розтяг та стискання. Проектування підошви взуття із врахуванням перелічених факторів сприятиме підвищенню її міцності та збільшенню довговічності.

На сьогодні для взуттєвої промисловості розроблено велику кількість програмних засобів, використання яких допомагає скоротити час виходу на ринок продукту. Обчислювальна техніка та сучасні методи управління дозволяють вирішувати виробничі завдання за порівняно короткий час, і значно підвищити продуктивність праці. Дизайн підошви можна розробляти за допомогою програмного забезпечення САПР Solid Works. Цей інструмент дозволяє користувачеві створювати складні конструкції, і виконувати моделювання їх поведінки.

На механічні властивості полімерного матеріалу у вилитих виробах значно впливають параметри технологічного процесу лиття, що до цього часу не враховувалося при виготовленні взуттєвих виробів. У зв'язку з цим вдосконалення технологічного процесу лиття під тиском деталей взуття з використанням полімерних матеріалів з різними механічними властивостями є актуальною задачею, вирішення якої призведе до підвищення споживчих властивостей взуття.

Використання сучасного програмного продукту Solid Works дозволило значно підвищити точність розрахунку деформацій та напруженість в тілі підошви. В результаті проведеного моделювання згину підошви під дією експлуатаційних навантажень отримані поля розподілу деформацій та напружень.

За допомогою комп'ютерного моделювання досліджено, як впливають фізико-механічні властивості матеріалу підошви та її геометричні параметри на міцність та гнучкість, що дозволяють визначити раціональну конструкцію взуття.

Таким чином, встановивши розподіл навантаження по поверхні підошви можна визначити, у якій частині виробу напруження полімеру найбільші та можлива його деформація. Це дозволить спроектувати оптимальну конструкцію прес-форми, визначивши необхідну кількість впускних отворів, та розташувати їх таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення прес-форми для отримання якісних виробів.

Для лиття деталей низу взуття широко застосовуються гумові суміші, полімерною основою яких є бутадієн-стирольні, ізопренові і полібутадієнові каучук [2].

Методом рідкого формування виготовлюється поліуретановий низ взуття. Крім реактопластів для лиття деталей низу взуття використовуються термопластичні полімерні матеріали: полістирол, поліаміди, нейлон, поліолефіни, поліетилен, поліпропілен. Широко використовуються пластифіковані суміші на основі полівінілхлориду, а також комбінації останнього з різними полімерами: полістиролом, акрилонітрилом, поліуретаном, каучуком.

Останнім часом застосовуються термопластичні суміші різних полімерних матеріалів: ПОТЕ – етилену, пропілену, етилен-пропіленових каучук і поліолефінів; АБС-пластики – полістиролу, полібутадієну, ізопрену тощо.

Високими експлуатаційними якостями відрізняються підошви із ТЕП: поліуретанових, а також дивініл-стирольних, ізопрен-стирольних, дивініл- і метил-стирольних блок співполімерів [3].

Враховуючи, що при литті гумових сумішей необхідні додаткові затрати енергії і часу на здійснення в'язкого плинну і вулканізації, а для отримання реакційної суміші поліуретану – спеціальне обладнання – перевагу у виборі матеріалів для проведення досліджень було віддано термопластичним матеріалам.

Серед останніх поліолефіни мають низьку атмосферо стійкість [4]. У зв'язку з цим, при проведенні експериментів використовувались ПВХ – пластикат ПЛ-2/1 і ТЕП – EURUBBER італійської фірми TECNOFIRM.

**Постановка завдання**

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити концепції досягнення стабільно високих експлуатаційних показників литих взуттєвих виробів на основі диференційованого використання в їх окремих частинах полімерних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями, які відповідають характеру та інтенсивності експлуатаційних навантажень;
- встановити розподіл навантаження на поверхні підошви, і дізнатися, в якій частині напруження полімеру найбільші для визначення технологічних параметрів з метою підвищення експлуатаційних показників виробів.
- вивчити вплив параметрів технологічного процесу лиття на адгезійну міцність з'єднання частин виробів з метою забезпечення їх конструктивної цілісності;

**Результати досліджень**

З метою визначення залежності контрольованих параметрів від орієнтації макромолекул відносно напрямку ковзання і багаторазового згину проводились експерименти за одно факторними планами. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільша інтенсивність зношування має місце при ковзанні перпендикулярно до напрямку плинину розплаву в прес-формі, тобто орієнтації макромолекул (див. табл.).

Таблиця

**Інтенсивність зношування та кількість багаторазових згинів**

№	Матеріал	Інтенсивність зношування, $\frac{\text{кг}}{\text{м}}$	Кількість багаторазових згинів до появи тріщин
1	2	3	4
1)	ПВХ	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^6$
2)	ТЕП	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^6$

За даними експериментів побудовані діаграми інтенсивності зношування (рис. 2) і кількості циклів багаторазового згину, що передують руйнуванню від втоми (рис. 3).

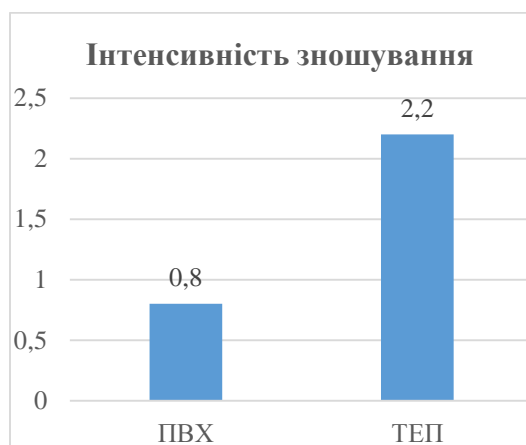


Рис. 2. Інтенсивність зношування



Рис. 3. Кількість циклів згину перед втомним руйнуванням

Зношування ПВХ супроводжується утворенням на зношуваній поверхні борозн, зорієнтованих у напрямку ковзання.

На зношуваній поверхні зразків із ТЕП виявлені гребні, зорієнтовані перпендикулярно до напрямку ковзання. Причому, найбільші відстані між гребнями відповідають ковзанню перпендикулярно, а найменші – паралельно до орієнтації макромолекул полімеру.

Встановлено також, що кількість циклів навантаження, які передують руйнуванню від втоми найбільша у випадку багаторазового згину в напрямку паралельному, а найменша – перпендикулярному до орієнтації макромолекул досліджуваних матеріалів при однаковій кількості циклів навантаження розміри втомної тріщини найменші у випадку багаторазового згину в напрямку плину розплаву протягом заповнення прес-форми.

На основі результатів досліджень сконструйована підошва, яка складається з елементів, виготовлених з матеріалів, що мають різні фізико-механічні властивості.

Розподіл напружень та деформацій підошви при її навантаженні визначено за допомогою моделювання в середовищі Solid Works. (рис. 4 та рис. 5).

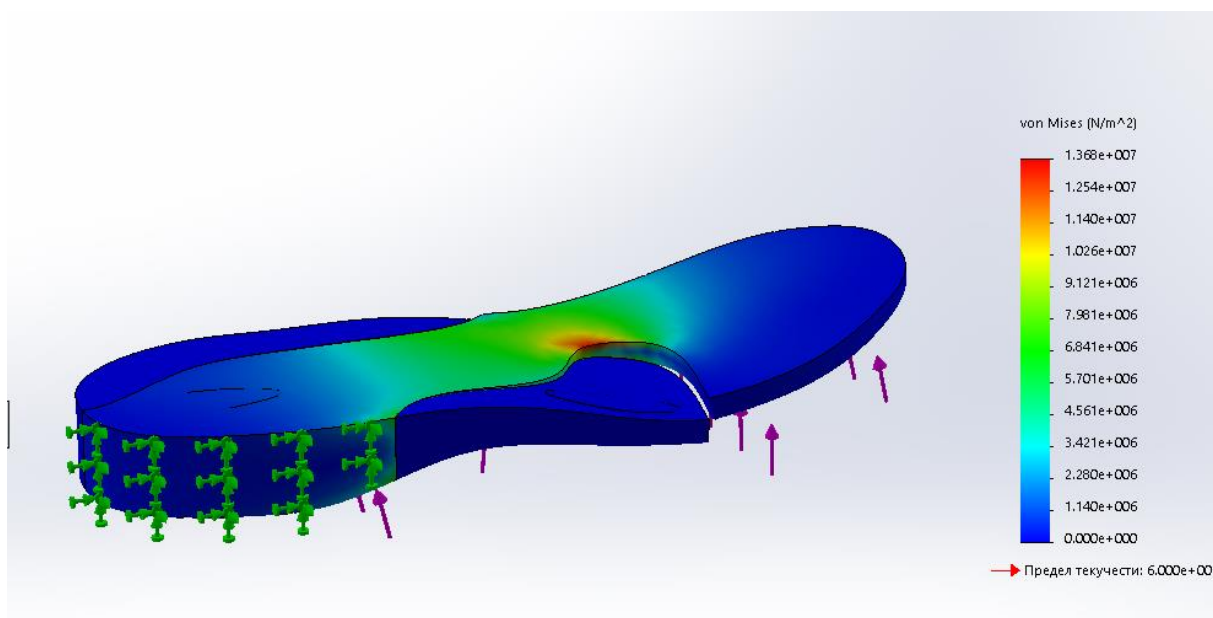


Рис. 4. Розподіл напружень в підошві

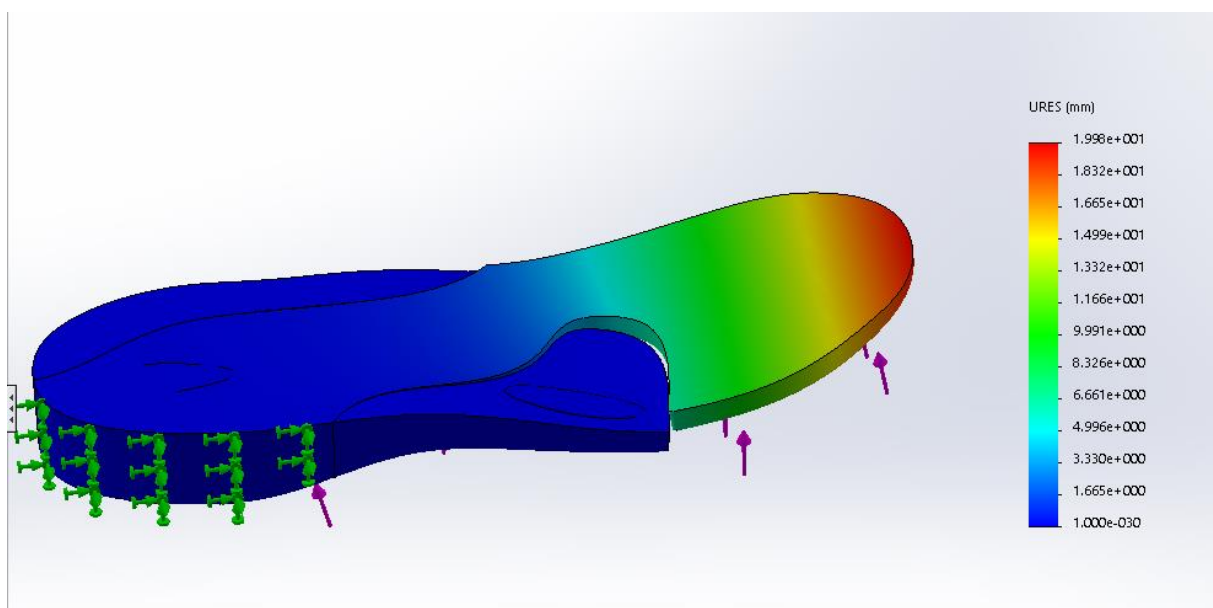


Рис. 5. Розподіл деформацій підошви

### **Висновки**

По результатам експериментальних досліджень визначено полімерні матеріали для використання в окремих зонах литої підошви з метою одночасного підвищення їх зносостійкості та втомної витривалості згину. На основі використання сучасного

програмного продукту Solid Works, здійснено моделювання процесу навантаження підошви в умовах експлуатації, що дозволили визначити найбільш навантажені місця з'єднання полімерних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями.

**Список використаних джерел**

1. Кулік Т. І. Прогнозування конфігурації частин литих комбінованих виробів з полімерних матеріалів / Т. І. Кулік, Б. М. Злотенко., О. М. Синюк // Вісник КНУТД. – 2005. – № 2. – С. 43-48.
2. Кулік Т. І. Аналітичне визначення технологічних параметрів процесу лиття під тиском комбінованих взуттєвих виробів / Т. І. Кулік // Вісник КНУТД. – 2005. – № 5. – С. 74-79.
3. Beyer C. E. Rheology in Molding / C. E. Beyer, R. S. Spencer // Rheology. – 1960. – Vol. 3. – P. 28-35.
4. Ballman R. L. Injection Molding – Flow into a Cold Cavity / R. L. Ballman, T. T. Shusman, H. L. Toor // Industrial & Engineering Chemistry – 1959, Vol. –№ 1. – P. 51-62.

**Bezsmertna Tetiana**  
[super\\_tetyana20@ukr.net](mailto:super_tetyana20@ukr.net)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**References**

1. Kulik, T.I., Zlotenko, B.M. & Syniuk, O.M. (2005). *Prohnozuvannia konfihuratsii chastyn lytykh kombinovanykh vyrobiv z polimernykh materialiv* [Predicting the configuration of parts of cast composite products made of polymeric materials]. *Visnyk KNUTD – KNUTD Bulletin*, 2, Pp. 43-48 [in Ukraine].
2. Kulik, T.I. (2005). *Analitychne vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv protsesu lyttia pid tyskom kombinovanykh vzuttievnykh vyrobiv* [Analytical determination of technological parameters of the process of injection molding of combined shoe products]. *Visnyk KNUTD – KNUTD Bulletin*, 5, Pp. 74-79 [in Ukraine].
3. Beyer, C.E. Rheology in Molding / C.E. Beyer, R.S. Spencer // Rheology. – 1960. – Vol. 3. – Pp. 28-35.
4. Ballman, R.L. Injection Molding – Flow into a Cold Cavity / R.L. Ballman, T.T. Shusman, H.L. Toor // Industrial & Engineering Chemistry – 1959, Vol. –№ 1. – Pp. 51-62.

**Zlotenko Borys**  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0870-8535>  
[zlotenco@ukr.net](mailto:zlotenco@ukr.net)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Совершенствование технологического процесса литья под давлением деталей обуви из полимерных материалов**

**Бессмертная Т. В., Злотенко Б. М.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Усовершенствовать технологический процесс литья под давлением деталей обуви с повышенными эксплуатационными показателями за счет дифференцированного использования в них полимерных материалов с различными физико-механическими свойствами с учетом основных технологических факторов и конструктивных параметров технологической оснастки.

**Методика.** Теоретические исследования базируются на основных положениях технологии обувного производства, математического моделирования, механики жидкости, теплофизики, физики и механики полимерных материалов.

**Результаты.** Экспериментальные исследования с прогнозируемыми свойствами выполнялись с помощью компьютерной программы SolidWorks.

**Научная новизна.** На основе комплексных исследований установлены закономерности и разработаны основы технологического процесса литья обувных изделий с повышенными эксплуатационными показателями за счет дифференцированного использования в них полимерных материалов с различными физико-механическими свойствами путем управления технологическими параметрами.

**Практическая значимость.** Исследована интенсивность изнашивания и количества циклов многократного изгиба, предшествующих разрушению от усталости.

**Ключевые слова:** литье полимеров, литая подошва, пресс-форма, технологический процесс, технология обуви

### ***Improvement of the technological process of injection molding of shoe parts made of polymeric materials***

***Bezsmertna T. V., Zlotenko B. M.***

*Kyiv National University of Technology and Design*

***Purpose.*** Improve the technological process of injection molding of shoe parts with high performance due to the differentiated use of polymeric materials with different physical and mechanical properties, taking into account the main technological factors and structural parameters of technological equipment.

***Methodology.*** Theoretical studies are based on the main principles of technology of shoe production, mathematical modeling, fluid mechanics, thermophysics, physics and mechanics of polymeric materials.

***Findings.*** Experimental studies with predicted properties were performed using the SolidWorks computer program.

***Originality.*** On the basis of complex researches regularities are established and bases of technological process of casting of shoe products with the increased operational indicators due to the differentiated use of polymeric materials with different physical and mechanical properties by management of technological parameters are developed.

***Practical value.*** The intensity of wear and number of multiple bending cycles preceding fatigue fracture was investigated.

***Keywords:*** polymer casting, cast sole, mold, technological process, shoe technology