

УДК 675.03:678.046:685.34

Лобанова Г. Є.,

lobanovah@khtnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6192-8131
к.т.н., доцент кафедри індустрії моди в легкій промисловості,
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Надопта Т. А.,

nadoptate@khtnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9338-7827,
к.т.н., доцент кафедри індустрії моди в легкій промисловості,
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Кунцов О. Ю.,

kuntsov.oleksandr@khtnu.edu.ua, ORCID ID:0009-0007-8825-9285
асистент кафедри індустрії моди в легкій промисловості,
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГАРЯЧОГО ФОРМУВАННЯ СЛІДУ ЗАГОТОВКИ НА ВЗУТТЄВІЙ КОЛОДЦІ

Анотація. У статті досліджено особливості сучасного взуттєвого виробництва в умовах швидкої адаптації до вимог ринку, зростання ролі новітніх матеріалів і технологій, а також необхідності проектування деталей і вузлів, що з'єднуються на об'ємних поверхнях складної геометрії. Особливе значення набуває процес гарячого формування сліду заготовки взуття на колодці, який визначає точність геометрії внутрішньої форми виробу та експлуатаційні характеристики взуття. Незважаючи на розвиток цифрового моделювання та САД-технологій, проблема локальних зазорів між слідом колодки та прес-формою залишається актуальною, що призводить до нерівномірного розподілу питомого тиску, погіршення формостійкості та зниження довговічності виробів.

У роботі запропоновано науково обґрунтований підхід до базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм у серії суміжних розмірів, з врахуванням стабільні опорних зон (п'яткова зона, поздовжнє склепіння, область плесно-фалангового згину). Розроблено методіку формування поздовжньо-осьового профілю прес-форми з урахуванням технологічних припусків, пружно-в'язкопластичних властивостей матеріалів та термічних деформацій заготовки взуття.

У межах дослідження проведено аналіз геометричних зазорів між колодками та прес-формами у площині ХZ. Встановлено, що запропонований принцип базування за стабільними опорними зонами зменшує максимальні зазори на 20-30 % у порівнянні з традиційним лінійним масштабуванням профілів і локалізує їх у міжопорних сегментах, що забезпечує рівномірний розподіл питомого тиску під час гарячого формування. Використання САД-аналітики дозволяє прогнозувати геометричні невідповідності, оптимізувати форму прес-форми та налаштування технологічного процесу для серійного виробництва взуття.

Практична значущість роботи полягає у підвищенні стабільності процесу гарячого формування, зменшенні обсягу коригувальних операцій, скороченні браку та підвищенні повторюваності результатів у серійному виробництві взуття. Запропонований підхід сумісний із сучасними САД/САМ-системами та може бути інтегрований в автоматизовані технологічні лінії без суттєвих змін обладнання, що підтверджує його технологічну та економічну доцільність.

Ключові слова: взуттєве виробництво, колодка, прес-форма, гаряче формування, базування, уніфікація, формостійкість, САД/САМ-системи.

Lobanova H. Ye.

*lobanovah@khmnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6192-8131,
Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Fashion Industry
in Light Manufacturing,
Khmelnyskyi National University, Khmelnyskyi*

Nadopta T. A.,

*nadoptate@khmnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9338-7827,
Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Fashion Industry
in Light Manufacturing,
Khmelnyskyi National University, Khmelnyskyi*

Kuntsov Yu. O.,

*kuntsov.oleksandr@khmnu.edu.ua, ORCID ID:0009-0007-8825-9285
Assistant Professor at the Department of Fashion Industry in Light Manufacturing,
Khmelnyskyi National University, Khmelnyskyi*

OPTIMIZATION OF HOT FORMING PARAMETERS FOR SHOE BLANKS ON A LAST

Abstract. *The paper investigates the features of modern footwear manufacturing under conditions of rapid adaptation to market requirements, the increasing role of advanced materials and technologies, and the necessity of designing components and assemblies joined on complex three-dimensional surfaces. Particular importance is attributed to the process of hot forming of the footwear blank bottom on the last, as it determines the geometric accuracy of the internal shape of the product and its operational performance characteristics. Despite the development of digital modeling and CAD technologies, the problem of local gaps between the last bottom surface and the press mold remains relevant, leading to an uneven distribution of specific pressure, reduced shape stability, and decreased durability of footwear products.*

The study proposes a scientifically substantiated approach to basing the longitudinal-axial profiles of lasts and press molds within a series of adjacent sizes, relying on stable support zones (heel region, longitudinal arch, and metatarsophalangeal flexion area). A methodology for forming the longitudinal-axial profile of the press mold is developed, taking into account technological allowances, viscoelastic-plastic material properties, and thermal deformations of the footwear blank.

Within the scope of the research, geometric gaps between lasts and press molds in the XZ plane were analyzed. It was established that the proposed basing principle according to stable support zones reduces maximum gaps by 20-30 % compared to traditional linear scaling of profiles and localizes them within inter-support segments, ensuring a more uniform distribution of specific pressure during the hot forming process. The use of CAD-based analysis enables the prediction of geometric mismatches, optimization of press mold geometry, and adjustment of technological process parameters for serial footwear production.

The practical significance of the study lies in improving the stability of the hot forming process, reducing the volume of corrective operations, decreasing defect rates, and increasing the repeatability of results in serial footwear manufacturing. The proposed approach is compatible with modern CAD/CAM systems and can be integrated into automated production lines without significant equipment modifications, confirming its technological and economic feasibility.

Key words: footwear manufacturing, shoe last, press mold, hot forming, basing, unification, shape stability, CAD/CAM systems.

JEL Classification: L 69

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2025-44-04>

Постановка проблеми. Сучасне взуттєве виробництво нині переживає активну інтенсивну трансформацію, що зумовлена одночасним впливом технологічних, економічних і споживчих чинників. Підвищення вимог до комфортності,

формостійкості та довговічності взуття відбувається паралельно зі скороченням життєвого циклу взуття і необхідністю швидкої адаптації виробництва до змін попиту. За таких умов особливого значення набувають операції формування,

зокрема гаряче формування сліду зтягнутого взуття, яке визначає точність геометрії внутрішньої форми виробу та безпосередньо впливає на його експлуатаційні властивості.

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених проектуванню взуттєвих колодок, цифровому моделюванню та оптимізації окремих технологічних параметрів, проблема забезпечення високої точності та відповідності геометрії сліду взуттєвої колодки в процесі гарячого формування залишається актуальною та недостатньо вирішеною [1-2].

У промислових умовах використання уніфікованих прес-форм для серій суміжних розмірів колодок призводить до виникнення локальних зазорів між слідом колодки та формоутворювальною поверхнею прес-форми. Такі зазори зумовлюють нерівномірний розподіл питомого тиску в процесі гарячого формування, що негативно впливає на формостійкість і експлуатаційні характеристики взуття [3].

Існуючі методи керування процесом гарячого формування не забезпечують кількісної оцінки впливу геометричних невідповідностей на ефективність формоутворення та не дозволяють науково обґрунтовано коригувати температуру, тиск і час формування з урахуванням реальної геометрії контактних поверхонь [4].

У зв'язку з цим виникає наукова проблема розроблення комплексного підходу до оптимізації параметрів гарячого формування сліду зтягнутого взуття, який базується на аналізі геометричного контакту «колодка – зтягнута заготовка верху – прес-форма» та дозволяє підвищити точність геометрії сліду й експлуатаційні характеристики взуття в умовах уніфікованого технологічного оснащення.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій. Формування сліду взуття здійснюється шляхом термомеханічного впливу на матеріали заготовки в жорстких прес-формах. Недостатня точність цього процесу призводить до локальних перевантажень, прискореного зносу матеріалів та зниження комфортності взуття [5-9]. Ефективність формування сліду взуття визначається узгодженістю температурних, силових і часових параметрів формування, а також геометричною відповідністю контактних поверхонь колодки та прес-форми [4, 10]. Відсутність науково обґрунтованої оптимізації цих параметрів зумовлює нестабільність геометрії сліду та коливання експлуатаційних властивостей готового взуття.

Особливої актуальності проблема оптимізації параметрів гарячого формування набуває в умо-

вах уніфікації колодок і прес-форм для серій суміжних розмірів. Дослідження у сфері цифрового проектування взуття показують, що навіть незначні геометричні невідповідності між слідом колодки та прес-формою призводять до нерівномірного розподілу питомого тиску в процесі формування та погіршення якості взуття [4, 10-11].

У наукових працях як українських, так і зарубіжних авторів значну увагу приділено питанням проектування взуттєвих колодок та внутрішньої форми взуття. Класичні підходи ґрунтуються на використанні антропометричних параметрів стопи та принципів ергономіки, що дозволяє забезпечити базовий рівень комфортності [1, 5]. Водночас у більшості таких досліджень процес гарячого формування розглядається переважно узагальнено, без детального аналізу впливу технологічних параметрів на геометрію сліду взуття.

Сучасні закордонні роботи акцентують увагу на впровадженні цифрових технологій у проектуванні взуття, зокрема методів 3D-сканування стопи, САD-моделювання колодок і чисельного аналізу контактної взаємодії [9, 12-13]. Такі підходи створюють передумови для підвищення точності геометричних характеристик, проте здебільшого не враховують реальні умови гарячого формування у жорстких прес-формах, що обмежує їх практичне застосування.

Окремий напрям досліджень присвячено вивченню впливу температурних та силових режимів на поведінку матеріалів у процесі термоформування. Зокрема встановлено, що температура формування істотно впливає на в'язкопружні властивості полімерних матеріалів і здатність матеріалу фіксувати задану форму [14-15]. Водночас перевищення оптимального температурного діапазону може спричинити руйнування структури матеріалів і зниження формостійкості готового взуття.

Вітчизняні дослідження у сфері взуттєвого виробництва здебільшого акцентують на вдосконаленні внутрішньої форми взуття, застосуванні САD-систем і підвищенні комфортності взуття масового виробництва [1, 5]. Проте питання точного геометричного розташування колодок у прес-формах та кількісної оцінки зазорів між їхніми поздовжньо-осьовими профілями, що призводить до локальних зон не прилягання, зменшення питомого тиску та появи дефектів формування, залишаються недостатньо дослідженими.

Наукові праці, присвячені уніфікації технологічного оснащення, здебільшого акцентують увагу на економічних та організаційних аспектах.

У зарубіжних публікаціях уніфікація пов'язується з концепцією масової кастомізації взуття та впровадженні гнучких виробничих систем [2, 8]. Водночас питання впливу геометричних невідповідностей між колодкою та прес-формою на процес гарячого формування сліду висвітлюється фрагментарно.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень свідчить про відсутність цілісного підходу до оптимізації параметрів гарячого формування сліду з урахуванням специфіки геометричної взаємодії контакту «колодка – затягнута заготовка верху – прес-форма». Тому, актуальним є дослідження величин можливих зазорів та розробка методів їх мінімізації на етапі гарячого формування сліду затягнутого взуття.

Постановка завдання. Метою дослідження є підвищення ефективності процесу гарячого формування сліду заготовки шляхом науково обгрунтованого базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм у серії суміжних розмірів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- проаналізувати геометричну відповідність профілів сліду колодок розмірного ряду;
- обгрунтувати вибір базового профілю прес-форми;
- дослідити схему базування колодок у площині XZ;
- визначити характер і величини можливих зазорів між профілями;
- оцінити практичну доцільність запропонованого підходу для взуттєвого виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. У взуттєвій промисловості, зокрема на етапі гарячого формування сліду заготовки, контроль стану та якість випуску готової продукції переважно здійснюються методами, що є малоефективними та недостатньо адаптованими до умов автоматизованого контролю технологічних операцій. Способи контролю, котрі використовуються, як правило, не забезпечують безперервного моніторингу параметрів формування та не дозволяють оперативно коригувати відхилення, що виникають у процесі термомеханічного впливу на матеріал верху та низу взуття.

Процес гарячого формування сліду заготовки, затягнутої на колодку, є складною термомеханічною взаємодією між матеріалами деталей верху, проміжними деталями та деталями низу взуття, у якій вирішальну роль відіграють температурні, силові та часові параметри. Їх узгодженість

визначає точність відтворення геометрії колодки, стабільність форми сліду та експлуатаційні характеристики готового виробу. Температурний режим формування забезпечує перехід матеріалів у високоеластичний або в'язкопластичний стан, необхідний для фіксації просторової форми сліду. Підвищення температури активізує молекулярну рухливість полімерних компонентів, знижує модуль пружності та сприяє релаксації внутрішніх напружень, тоді як перевищення оптимального температурного діапазону призводить до порушення структури матеріалів, деградації адгезійних зв'язків та зниження формостійкості виробів.

Тиск у зоні контакту сліду затягнутого взуття з колодкою є визначальним чинником рівномірності формування та щільності прилягання матеріалів до її поверхні. Силовий вплив забезпечує перерозподіл матеріалу, усунення та ущільнення складок і фіксацію геометричних параметрів сліду, однак недостатній тиск зумовлює нестабільність форми, тоді як надмірний – призводить до надмірного ущільнення матеріалів, появи залишкових деформацій і зниження комфортності та довговічності взуття. Час дії температури та тиску визначає ступінь завершеності процесів термопластичної деформації та стабілізації форми сліду затягнутої на колодці заготовки взуття: недостатня тривалість не забезпечує повної релаксації внутрішніх напружень, а надмірна – сприяє термічному пошкодженню матеріалів і зниженню продуктивності виробництва.

Авторами запропоновано послідовність базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм у серії суміжних розмірів, що ґрунтується на фіксації стабільних опорних зон (п'яткова зона, зона поздовжнього склепіння та область плесне-фалангового згину) у єдиній координатній системі (рис.1). Зміна розміру реалізується шляхом керованої трансформації міжопорних сегментів поздовжнього профілю без зміщення базових зон, що забезпечує геометричну відповідність профілів і узгодженість формоутворення. На основі профілів колодок формуються відповідні профілі прес-форм з урахуванням технологічних припусків і деформацій матеріалів, після чого виконується аналіз контактних умов у системі «колодка – заготовка – прес-форма» з можливістю корекції параметрів міжопорних сегментів для досягнення стабільності процесу гарячого формування сліду заготовки.

На початковому етапі формується єдина координатна система поздовжньо-осьового про-

філю колодки, у якій вісь X орієнтована вздовж осі стопи, а вісь Y відповідає висотним параметрам профілю. Початок координат фіксується в п'ятковій опорній зоні як найбільш стабільній у функціональному та геометричному відношенні.

На наступному етапі здійснюється ідентифікація стабільних опорних зон стопи, до яких відносяться п'яткова ділянка, зона поздовжнього склепіння та область плесне-фалангового згину. Для кожної з указаних зон визначаються характерні точки поздовжньо-осьового профілю, координати яких приймаються базовими та залишаються незмінними при переході між суміжними розмірами. Такий підхід дозволяє забезпечити інваріантність базування та усунути похибки, властиві традиційному лінійному масштабуванню.



Рис. 1. Послідовність базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм

Далі поздовжньо-осьовий профіль колодки підлягає декомпозиції на функціональні сегменти, які поділяються на опорні та міжопорні. Опорні сегменти відповідають стабільним зонам та зберігають свої геометричні параметри, тоді як міжопорні сегменти підлягають керованій параметричній трансформації. Зміна розміру колодки в серії суміжних розмірів реалізується шляхом деформації саме міжопорних сегментів з урахуванням закономірностей подовження стопи та перерозподілу деформаційних навантажень, без зміщення базових опорних зон.

Після формування профілів суміжних розмірів виконується їх геометричне узгодження в межах єдиної координатної системи. На цьому етапі здійснюється перевірка безперервності контурів, відсутності локальних зламів і мінімізації геометричних зазорів між профілями, що забезпечує спадковість форми у всьому розмірному ряді. На основі базових профілів колодок формується поздовжньо-осьовий профіль прес-форми з урахуванням технологічних припусків, термічних деформацій та пружно-в'язкопластичних властивостей матеріалів заготовки.

Завершальним етапом алгоритму є аналіз контактних умов у системі «колодка – заготовка – прес-форма», який дозволяє оцінити рівномірність розподілу тиску та стабільність формування сліду. У разі виявлення нерівномірностей або відхилень здійснюється корекція параметрів поздовжньо-осьового профілю без зміни базування за стабільними опорними зонами. Реалізація алгоритму завершується формуванням фінальної серії узгоджених профілів колодок і прес-форм, придатних для використання в автоматизованих технологічних процесах гарячого формування сліду заготовки.

Вибір базового профілю прес-форми для процесу гарячого формування сліду заготовки зумовлюється необхідністю забезпечення геометричної відповідності між робочими поверхнями прес-форми та поздовжньо-осьовим профілем колодки, на яку зтягнута заготовка. Як базовий прийнято профіль, сформований на основі фіксованих опорних зон, що характеризуються мінімальною варіабельністю при переході між суміжними розмірами. Такий підхід дозволяє зберегти просторове положення ключових контактних ділянок і забезпечити стабільність умов термо-механічного впливу на матеріали верху та низу взуття. Базовий профіль прес-форми формується як похідна від профілю колодки з урахуванням технологічних припусків, пружно-

в'язкопластичних властивостей матеріалів та очікуваних деформацій у процесі гарячого формування.

Дослідження схеми базування колодок у площині XZ. Схема базування колодок у площині XZ розглядається як визначальний чинник забезпечення узгодженості поздовжньо-осьових профілів у вертикальному перерізі. У процесі дослідження встановлено, що фіксація колодки за п'ятковою опорною зоною та орієнтація осі X вздовж поздовжньої осі стопи забезпечують інваріантність положення базових точок у серії суміжних розмірів. При цьому координата Z відображає висотні параметри профілю, що є критичними для формування зводу та переднього відділу сліду. Запропонована схема базування дозволяє мінімізувати кутові та лінійні відхилення профілів, а також забезпечує коректне накладання контурів при їх цифровому аналізі у CAD-середовищі.

Базовий профіль прес-форми формується на основі стабільних опорних зон стопи: п'яткова зона (P), зона поздовжнього зводу (Z), плюсне-фаланговий сегмент (F).

Координати цих зон фіксуються у єдиній координатній системі (X,Z), де X - поздовжня вісь колодки і стопи, Z - висотна координата профілю. Профіль прес-форми визначається як похідний від колодки з урахуванням технологічних припусків ΔT , ΔP , що враховують пружно-в'язкопластичну деформацію матеріалів:

$$Z_{PF}(X) = Z_K(X) + \Delta_T(X) + \Delta_P(X) \quad (1)$$

де:

$Z_{PF}(X)$ – висотна координата профілю прес-форми;

$Z_K(X)$ – висотна координата колодки;

$\Delta_T(X)$ – поправка на термічне розширення/усадку;

$\Delta_P(X)$ – поправка на пружну деформацію під час формування.

Профіль прес-форми визначається як похідний від колодки з урахуванням технологічних припусків ΔT , ΔP , що враховують пружно-в'язкопластичну деформацію матеріалів.

Визначення характеру і величин можливих зазорів між профілями. У межах дослідження виконано аналіз геометричних зазорів між поздовжньо-осьовими профілями колодок і відповідних прес-форм у площині XZ. Встановлено, що при традиційному лінійному масштабуванні профілів зазори мають нерівномірний характер і досягають максимальних значень у зонах поздо-

вжнього зводу та плесне-фалангового згину. За запропонованого принципу базування за стабільними опорними зонами величини зазорів зменшуються та мають локалізований характер, що дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл тиску під час гарячого формування.

Зазор у будь-якій точці X опорних зон визначається як різниця між координатами профілю прес-форми та колодки:

$$\delta(X) = Z_{PF}(X) - Z_K(X) \quad (2)$$

де:

$\delta(X)$ – локальний зазор;

при $\delta(X) > 0$ зазор існує, при $\delta(X) = 0$ – ідеальний контакт.

Для серії суміжних розмірів R_i та R_{i+1} визначаються відносні зміни зазорів:

$$\Delta\delta(X) = \delta_{i+1}(X) - \delta_i(X) \quad (3)$$

Ця величина використовується для оцінки профілів та рівномірності контактного тиску.

Розрахунок $\delta(X)$ та $\Delta\delta(X)$ дозволяє:

– прогнозувати геометричні невідповідності та зазори;

– оцінювати ефективність запропонованого базування за стабільними опорними зонами;

– оптимізувати форму прес-форми та налаштування гарячого формування для серійного виробництва.

На графіку (рис. 2) видно, що зазори мінімальні у стабільних опорних зонах стопи і зростають у міжопорних сегментах, що підтверджує доцільність запропонованого базування за стабільними зонами стопи та рівномірну трансформацію міжопорних сегментів.

Застосування даного підходу дозволяє зменшити максимальні зазори на 20-30 % у порівнянні з традиційним лінійним масштабуванням профілів, що підвищує точність відтворення сліду заготовки та експлуатаційні характеристики готового взуття.

Практична доцільність запропонованого підходу до базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм підтверджується підвищенням стабільності процесу гарячого формування сліду заготовки та зменшенням варіабельності геометричних параметрів готових виробів. Застосування базового профілю, сформованого за стабільними опорними зонами стопи, дозволяє скоротити обсяг коригувальних операцій прес-форм, знизити відсоток браку та підвищити повторюваність результатів у серійному виробництві взуття. Запропонований підхід є сумісним із сучасними CAD/CAM-системами та може бути інтегрований у автоматизовані технологічні лінії взуття-

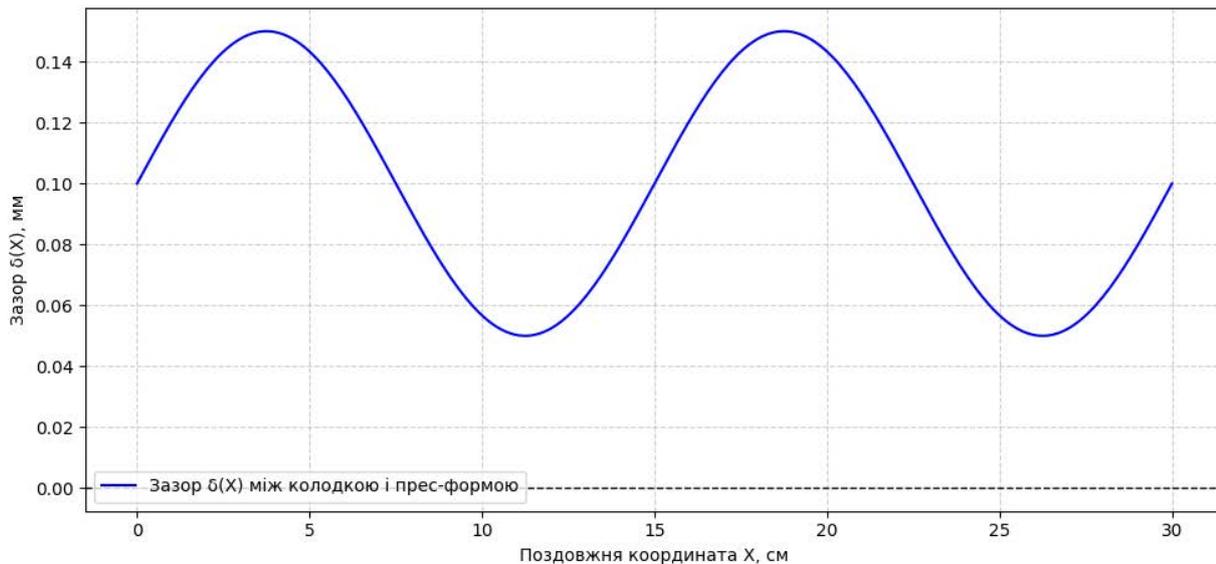


Рис. 2. Величини зазорів $\delta(X)$ між профілями колодки та прес-форми

вого виробництва без суттєвих змін існуючого обладнання, що підтверджує його технологічну та економічну доцільність.

Висновки. Проведено наукове обґрунтування базового профілю прес-форми для гарячого формування сліду заготовки, сформованого на основі стабільних опорних зон стопи (п'яткова зона, поздовжнє склепіння, плесне-фаланговий згин), що забезпечує інваріантність ключових контактних ділянок при серійному виробництві. Розроблено алгоритм базування поздовжньо-осьових профілів колодок і прес-форм у серії суміжних розмірів із керованою трансформацією міжпорних сегментів, що дозволяє забезпечити спадковість форми, зменшити локальні зазори та підвищити точність гарячого формування.

Досліджено схему базування колодок у площині XZ, яка забезпечує інваріантність координат базових точок при переході між розмірами і мінімізує кутові та лінійні відхилення профілів.

Проведено аналіз характеру та величини зазорів між профілями колодок і прес-форм; встановлено, що запропонований принцип базування зменшує максимальні зазори на 20-30 %, локалізує їх у міжпорних сегментах і забезпечує рівномірний розподіл тиску під час формування.

Практична доцільність підходу підтверджується підвищенням стабільності процесу гарячого формування, зменшенням обсягу коригувальних операцій, зменшенням браку та можливістю інтеграції у CAD/CAM-системи та автоматизовані технологічні лінії виготовлення взуття.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чертенко Л. П., Каптюрова Д. В., Бондар О. С., Нос О. В. Вдосконалення внутрішньої форми взуття з використанням сучасних прогресивних технологій. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2022. № 6(1). С. 102–110. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-315-6-102-110.
2. Zhang Y., Luximon A., Pattanayak A. K., Zhang M. Shoe-last design exploration and customization. Journal of the Textile Institute. 2012. Vol. 103. No. 5. P. 541–548. DOI: 10.1080/00405000.2011.589576.
3. Надопта Т. А., Домбровський А. Б., Лобанова Г. Є. Принципи базування контурів сліду колодок та прес-форм. *Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості*: матеріали міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. молодих вчених та студентів (Хмельницький, 24 листопада 2022 р.) Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 45–50.
4. Присяжний Л. В., Казмірчук О. Д. Технологічні передумови проектування та виготовлення прес-форм для гарячого формування сліду взуття. Вісник КНУТД. 2010. № 4. С. 112–118.
5. Чертенко Л. П., Кернеш В. М., Смоленська Б. М., Бондар О. С. Шляхи підвищення рівня комфортності взуття масового виробництва. Fashion Industry. 2022. № 1(1). С. 20–27. DOI: 10.30857/2706-5898.2022.1.1.
6. Luximon A., Luximon Y. Shoe-last design and development. The Science of Footwear / ed. A. Luximon. Boca Raton: CRC Press, 2013. P. 193–212. DOI: 10.1201/b13021-13.
7. Luximon A., Luximon Y. Shoe-last design innovation for better shoe fitting. Computers in Industry. 2009. Vol. 60, Iss. 8. P. 621–628. DOI: 10.1016/j.compind.2009.05.015.

8. Wang Y., Zhou J., Luximon A. Mass customization of footwear based on digital last and process parameter optimization. *Journal of Manufacturing Processes*. 2023. Vol. 86. P. 230–241. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.01.018.

9. Li H., Zhou T., Li X., Ma Y. A feature-based shoe-last design and its automatic model construction method in CAD systems. *Computer-Aided Design and Applications*. 2025. Vol. 22, No. 4. P. 600–615.

10. Стрельчєня К. М., Чертенко Л. П., Гаркавенко С. С. Дослідження параметрів формоутворення слїду колодки. *Технологїї та дизайн*. 2016. № 2 (19). URL: <https://er.knutd.edu.ua>

11. Солтик І. Т. Дослідження деформаційних процесів у пакетах матеріалів верху взуття. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2013. № 5. С. 87–92.

12. Jiménez-Martínez M. Parametric design of shoe lasts for mass customization. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2020. Vol. 32, No. 4. P. 567–579.

13. Spahiu T., Almeida H., Ascenso R. M. T., Vitorino L., Marto A. Optimization of shoe sole design according to individual feet pressure maps. *Computers in Industry*. 2021. Vol. 125. Article 103375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103375>

14. Злотенко Б. М., Волянник О. В., Рубанка М. М., Стаценко Д. О., Мельник Г. М. Використання інноваційних комп'ютерних засобів і методів наукових досліджень у взуттєвій галузі. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2025. № 3(1). С. 382–388. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-351-46.

15. Синюк, О., Полїщук, О., Кунцов, О. Моделювання процесу заповнення в'язкою рідиною порожнини прес-форми для лиття деталей взуття. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2024. Т. 335, № 3(1). С. 472–479.

REFERENCES:

1. Chertenko, L. P., Kaptiurova, D. V., Bondar, O. S., & Nos, O. V. (2022). Improvement of the internal shape of footwear using modern advanced technologies. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 6(1), 102–110. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-102-110>.

2. Zhang, Y., Luximon, A., Pattanayak, A. K., & Zhang, M. (2012). Shoe-last design exploration and customization. *Journal of the Textile Institute*, 103(5), 541–548. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.589576>.

3. Nadopta, T. A., Dombrovskiy, A. B., & Lobanova, H. Ye. (2022). Principles of contour basing of shoe last footprints and press molds. *Resource-Saving Technologies of Apparel, Textile & Food Industry*, 45–50.

4. Prysyzhnyi, L. V., & Kazmirchuk, O. D. (2010). Technological prerequisites for designing and manufacturing press molds for hot footwear footprint forming. *Bulletin of KNUTD*, (4), 112–118.

5. Chertenko, L. P., Kernesh, V. M., Smolenska, B. M., & Bondar, O. S. (2022). Ways to increase the comfort level of mass production footwear. *Fashion Industry*, 1(1), 20–27. <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2022.1.1>.

6. Luximon, A., & Luximon, Y. (2013). Shoe-last design and development. In A. Luximon (Ed.), *The science of footwear* (pp. 193–212). Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13021-13>

7. Luximon, A., & Luximon, Y. (2009). Shoe-last design innovation for better shoe fitting. *Computers in Industry*, 60(8), 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.05.015>.

8. Wang, Y., Zhou, J., & Luximon, A. (2023). Mass customization of footwear based on digital last and process parameter optimization. *Journal of Manufacturing Processes*, 86, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.01.018>

9. Li, H., Zhou, T., Li, X., & Ma, Y. (2025). A feature-based shoe-last design and its automatic model construction method in CAD systems. *Computer-Aided Design and Applications*, 22(4), 600–615.

10. Strelchenia, K. M., Chertenko, L. P., & Harkavenko, S. S. (2016). *Study of shoe last footprint forming parameters*. KNUTD Electronic Archive. <https://er.knutd.edu.ua>

11. Soltyk, I. T. (2013). Investigation of deformation processes in upper footwear material packages. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, (5), 87–92.

12. Jiménez-Martínez, M. (2020). Parametric design of shoe lasts for mass customization. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 32(4), 567–579.

13. Spahiu, T., Almeida, H., Ascenso, R. M. T., Vitorino, L., & Marto, A. (2021). Optimization of shoe sole design according to individual feet pressure maps. *Computers in Industry*, 125, 103375. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103375>

14. Zlotenko, B. M., Voliannyk, O. V., Rubanka, M. M., Statsenko, D. O., & Melnyk, H. M. (2025). Use of innovative computer tools and research methods in the footwear industry. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 3(1), 382–388. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-46>.

15. Sinyuk, O., Polishchuk, O., & Kuntsov, O. (2024). *Modeliuvannia protsesu zapovnennia viazkoї ridyny porezhnyanyny pres-formy dlia lyttia detalei vzuttia* [Modeling the filling process with a viscous fluid in a shoe mould]. *Visnyk Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 335(3(1)), 472–479. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-65>

Дата першого надходження статті до видання: 18.11.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.12.2025

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.12.2025