

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-77>
УДК 637.5.02

НАДОПТА ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9338-7827>

e-mail: nadoptate@khmnu.edu.ua

СКИБА МИКОЛА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0006-1451-4186>

e-mail: mskyba@khmnu.edu.ua

ПРИНЦИПИ КЕРОВАНOSTІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ

У роботі досліджено технологічні особливості процесу виготовлення спеціального взуття, зокрема визначено основні матеріали, методи їх обробки та фактори, що впливають на якість кінцевого виробу. Проаналізовано вплив параметрів технологічного процесу на експлуатаційні характеристики взуття, розглянуто сучасні підходи до підвищення керованості виробництвом, у тому числі використання інноваційних матеріалів та автоматизованих систем контролю.

Ключові слова: спеціальне взуття, матеріали, технологічний процес, адгезія, автоматизація.

TETIANA NADOPTA, MYKOLA SKYBA

Khmelnytskyi National University

PRINCIPLES OF CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SPECIAL FOOTWEAR MANUFACTURING

The paper explores the technological features of the special footwear manufacturing process, focusing on the selection of materials, processing methods, and key factors affecting the final product quality. The study highlights the impact of various technological parameters on the operational characteristics of special footwear and considers modern approaches to improving production controllability. The research emphasizes the importance of optimizing adhesive bonding processes, mechanical assembly methods, and material selection to ensure durability, protection, and comfort. A comprehensive analysis of the technological process reveals that the production of special footwear requires a multi-stage approach that includes material preparation, cutting, forming, assembling, and finishing operations. The study evaluates the properties of different materials used in special footwear, such as natural leather, polyurethane, thermoplastic polyurethane, and polyvinyl chloride, to determine their suitability for various conditions. It is demonstrated that thermoplastic polyurethane (TPU) exhibits superior mechanical properties, making it a promising material for high-performance footwear soles. The paper also discusses the role of automated control systems and innovative manufacturing techniques, such as laser cutting, 3D printing, and RFID tracking, in enhancing production efficiency and reducing defects. Additionally, the research examines the effects of temperature and pressure parameters on adhesive bonding quality and mechanical durability. The findings suggest that precise control of production parameters can significantly enhance the reliability and functionality of special footwear. Future research directions include the development of new polymer composites with improved mechanical properties and wear resistance, as well as the integration of smart technologies for real-time process monitoring. The study concludes that advancements in material science and automation will play a crucial role in the evolution of special footwear manufacturing, ensuring higher product quality, safety, and sustainability.

Keywords: special footwear, materials, technological process, adhesion, automation, mechanical properties.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасне виробництво спеціального взуття стикається з низкою викликів, пов'язаних із необхідністю підвищення його зносостійкості, ергономічності та захисних властивостей. Розвиток новітніх матеріалів і технологій дає змогу створювати взуття, яке відповідає сучасним стандартам безпеки та комфорту.

Однак, незважаючи на наявність передових методів виготовлення, досі існує проблема оптимізації технологічного процесу для забезпечення стабільної якості продукції та зниження виробничих витрат. Важливим аспектом залишається питання керованості процесом виробництва, що включає контроль параметрів матеріалів, температурного режиму, адгезії клейових з'єднань та ефективності механічної обробки.

Підвищення рівня автоматизації виробництва, впровадження інтелектуальних систем контролю та використання новітніх технологій, таких як 3D-друк і RFID-мітки, сприятиме підвищенню продуктивності та зменшенню рівня браку. Таким чином, дослідження технологічних особливостей виготовлення спеціального взуття є актуальним завданням як з наукової, так і з практичної точки зору.

Аналіз досліджень та публікацій

У сучасній науковій літературі приділяється значна увага дослідженню технологічних аспектів виробництва спеціального взуття. Баби́ч А.І. [1] проаналізував основні види спеціального взуття та матеріали для його виготовлення, розглянув особливості конструкцій та технологій кріплення деталей спеціального взуття, а також особливості матеріалів для його виготовлення.

Вашук Н.Ф. досліджувала напрями впровадження інноваційних технологій у виробництво сучасного взуття та виокремила, що результати досліджень мають перспективу застосування інноваційних технологій у спеціальному взутті. [2]

Козарь О.П. [3] присвятив свою дисертацію комплексному вирішенню науково-практичної проблеми створення спеціального захисного взуття завдяки формуванню властивостей взуттєвих шкіряних матеріалів та клеїв з використанням мінеральних композицій на основі природних алюмосилікатів.

Липський Т.М. [4] розробив взуття за індивідуальним замовленням із застосуванням авторського підходу до методу проектування взуттєвої колодки, конструкції взуття, технології складання та фінішного оздоблення готового виробу.

Обрізан В.А. та Дюг В.В. [5] удосконалили виготовлення спеціального взуття для захисту від механічних навантажень з використанням новітніх матеріалів, що сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів.

Таким чином, аналіз наукових публікацій свідчить про постійний інтерес дослідників до вдосконалення технологічних процесів виготовлення спеціального взуття, спрямованих на підвищення його якості, надійності та відповідності сучасним вимогам.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є дослідження технологічних особливостей процесу виготовлення спеціального взуття, а також визначення принципів керованості технологічного процесу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати існуючі технологічні підходи до виготовлення спеціального взуття, визначити основні матеріали, що використовуються у виробництві.

- Дослідити ключові етапи технологічного процесу, що впливають на якість та експлуатаційні характеристики спеціального взуття.

- Визначити фактори, що забезпечують керованість технологічного процесу, та обґрунтувати їх вплив на кінцеві властивості виробу.

- Запропонувати можливі напрями вдосконалення технологічного процесу виготовлення спеціального взуття на основі сучасних інноваційних технологій та матеріалів.

Таким чином, стаття спрямована на комплексний аналіз процесу виробництва спеціального взуття з метою покращення його функціональних характеристик та підвищення ефективності виробничих процесів.

Виклад основного матеріалу

В умовах сучасного виробництва спеціального взуття важливим є забезпечення його високих експлуатаційних властивостей, довговічності та відповідності нормативним вимогам щодо безпеки та ергономічності. Особливості технологічного процесу виготовлення такого значною мірою викликають залежність від умов його використання та специфіки захисту споживачів.

Процес виготовлення спеціального взуття є складним багатоступеневим технологічним циклом, що включає підготовку матеріалів, формування деталей, з'єднання основних елементів, фінішну обробку та контроль якості. Виробництво такого взуття орієнтоване на підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик, що зумовлює необхідність використання високотехнологічних матеріалів і сучасних методів обробки.

Спеціальне взуття використовується в умовах підвищених механічних, температурних, хімічних та інших навантажень, тому воно повинно відповідати таким критеріям:

- Механічна міцність – стійкість до розриву, стирання та ударних навантажень.

- Захисні властивості – можливість захисту від електричного струму, хімічно активних речовин, високих і низьких температур.

- Комфортність – ергономічний дизайн, зручність носіння, адаптація до індивідуальних особливостей стопи.

- Довговічність – збереження функціональних властивостей протягом усього терміну експлуатації.

Технологічний процес виготовлення спеціального взуття можна розділити на чотири етапи, першим з яких являється вибір та підготовка матеріалів. Використання якісних матеріалів визначає експлуатаційні характеристики взуття. Основними матеріалами для виготовлення верху є натуральна шкіра, штучні полімери та текстильні композити. Для підшви застосовуються поліуретани, термопластичні каучуки, гума та комбіновані матеріали. [4]

Підготовка матеріалів включає кілька технологічних операцій, які забезпечують високу якість та довговічність спеціального взуття. На першому етапі здійснюється розкроювання матеріалу, яке може виконуватися за допомогою лазерного або механічного різання. Використання лазерних технологій дозволяє досягти високої точності та мінімізувати відходи матеріалу. Після розкроювання проводиться обробка поверхонь, що сприяє покращенню адгезії між компонентами та підвищує міцність з'єднань. На

завершальному етапі матеріали проходять просочення захисними складами, що значно підвищує їхню зносостійкість, водонепроникність та опірність впливу агресивних середовищ. [2]

На етапі формування деталей взуття відбувається формування окремих елементів, таких як союзка, берці, язичок та підошва. Важливим параметром є модуль осьового стискання матеріалу, що визначає його пружні властивості. Формування може здійснюватися шляхом: пресування (для полімерних матеріалів); лиття під тиском (для підошви); штампування та прошивання (для натуральної шкіри).

Модуль осьового стискання матеріалу E визначається за формулою: [12]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P/A}{\Delta L/L}$$

де:

σ – напруження,

ε – відносна деформація,

P – зусилля стискання, Н;

A – площа навантаження, м².

ΔL – зміна довжини зразка,

L – початкова довжина.

Третій етап з'єднання деталей та складання взуття включає методи продемонстровані в таблиці 1.

Таблиця 1

Методи з'єднання деталей та складання взуття

№	Метод	Технологічні особливості
1	Клейове з'єднання	Формування клейового з'єднання складається з таких етапів: - підготовка поверхонь (знежирення, активація); - нанесення клею, підсушування; - пресування; - полімеризація. Також важливим параметром є адгезійна міцність (показник зчеплення клею з поверхневим матеріалом) та когезійна міцність (міцність самого клейового шару). Для забезпечення довговічності необхідний баланс між адгезійними та когезійними характеристиками, що досягається вибором відповідного клею та оптимізацією.
2	Прошивний метод	Механізм створення прошивного методу: - підготовка деталей (фізико-хімічна та механічна обробка деталей); - механічне з'єднання матеріалів; - розподіл навантаження; - фінішна обробка шва.
3	Комбіновані методи	поєднують клейові та механічні з'єднання для підвищення надійності взуття.

Для виготовлення спеціального взуття використовуються матеріали з високими експлуатаційними характеристиками. В таблиці 2 наведено фізико-механічні характеристики основних матеріалів, що застосовуються у виробництві спеціального взуття. [6, 10]

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики матеріалів для спеціального взуття

Матеріал	Густина, г/см ³	Міцність на розрив, МПа	Модуль осьового стискання, МПа
Натуральна шкіра	0,86	20–25	50–70
Поліуретан (ПУ)	0,55–0,65	10–25	80–150
Термопластичний поліуретан (ТПУ)	1,10–1,25	25–35	90–120
Полівінілхлорид (ПВХ)	1,20–1,40	15–25	60–80

З представлених даних видно, що термопластичний поліуретан (ТПУ) має високі показники міцності та стискальної жорсткості, що робить його перспективним для застосування у виробництві спеціального взуття.

Виготовлення спеціального взуття потребує дотримання суворих технологічних норм. Процес можна розглядати як систему, керовану параметрами часу, температури та сили впливу. Підвищення температури обробки матеріалів підошви сприяє зростанню їх міцності до певного рівня, після якого можливе термічне пошкодження матеріалу. Це підкреслює важливість точного контролю параметрів процесу.

Рисунок 1 ілюструє залежність міцності матеріалів підошви від температури пресування. Як видно з графіка, для більшості матеріалів міцність зростає зі збільшенням температури до певного оптимального рівня, після чого починається її зниження через термічну деградацію. Зокрема, термопластичний поліуретан (ТПУ) демонструє найкращі показники міцності при температурах близько 160–180°C, тоді як поліуретан (ПУ) та полівінілхлорид (ПВХ) мають нижчі межі стабільності. Натуральна шкіра менш чутлива до температури, але при надмірному нагріванні втрачає свої механічні властивості. [10, 11]

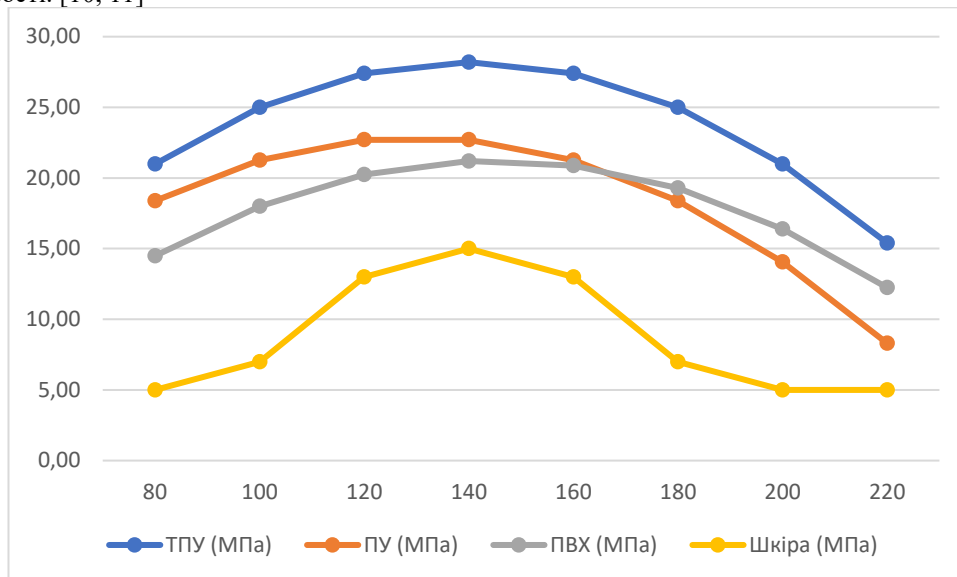


Рис 1. Залежність міцності матеріалів підошви від температури

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений аналіз фізико-механічних властивостей матеріалів для спеціального взуття дозволив визначити їхню придатність до використання у виробництві. Термопластичний поліуретан (ТПУ) показав найкращі показники міцності та пружності, що робить його перспективним матеріалом для виготовлення підошви, особливо при температурах пресування в межах 160–180°C. Поліуретан (ПУ) та полівінілхлорид (ПВХ) мають нижчу міцність, проте їх можна використовувати в конструкціях із помірними механічними навантаженнями. Натуральна шкіра залишається оптимальним матеріалом для верхньої частини взуття, забезпечуючи комфорт і довговічність.

Перспективними напрямками подальших досліджень є оптимізація температурних і часових режимів формування підошви для покращення її експлуатаційних властивостей. Важливим завданням залишається розробка нових полімерних композицій із підвищеною міцністю, гнучкістю та зносостійкістю. Також перспективним є впровадження автоматизованих систем контролю параметрів технологічного процесу, що сприятиме стабільності якості кінцевої продукції. Подальший розвиток матеріалознавчих досліджень і технологічних рішень сприятиме вдосконаленню виробництва спеціального взуття, підвищенню його надійності та комфорту.

Література

1. Бабич А.І. Аналіз основних видів спеціального взуття і матеріалів для його виготовлення : Легка промисловість №3. 2014, 42 с.
2. Ващук Н.Ф. Розвиток інноваційних технологій в сучасному виробництві спеціального взуття : Індустрія моди. Fashion Industry. - 2019. - № 3. - С. 34-39.
3. Козарь О.П. Формування властивостей взуттєвих матеріалів для спеціального взуття: дис. ... канд. техн. наук. – Київ: КНУТД, 2020.
4. Липський Т.М. Проектування та виготовлення спеціального взуття за індивідуальним замовленням // Технології дизайну. – 2021. – №2. – С. 102–110.
5. Обрізан В.А., Дюг В.В. Використання новітніх матеріалів у виробництві спеціального взуття // Вісник наукових досліджень. – 2022. – №4. – С. 56–62.
6. Лобанова Г.Є., Либа В.П. Порівняльна характеристика удосконаленої та діючої на підприємствах технології виготовлення спеціального взуття : Вісн. Хмельниць. нац. ун-ту. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 225-230.
7. Половніков І.І. Дослідницькі технології у ви-робництві спеціального взуття : монографія. Львів :Вид-во Львівської комерційної академії. 2014. –368 с.

8. Половніков І.І. Теоретичні та експериментальні дослідження споживних властивостей спортивного взуття для скейтбордингу : монографія. Львів: Вид-во Львівської комерційної академії, 2012. –404 с.
9. Попович Н.І., Беднарчук М.С. Номенклатура показників рівня якості взуття для оптимізації його торговельного асортименту : Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. 2014, 78 – 82 с.
10. Кулік Т.І., Гаркавенко С.С., Злотенко Б.М. Дослідження дифузійних явищ у зоні контакту потоків розплавів полімерних матеріалів у процесі лиття під тиском : Легка промисловість №4. 2016, 37 -41 с.
11. Який вплив має температура на полімери / Інтмакс. URL: <https://intmax.com.ua/zastosuvannya/yakyy-vplyv-maye-temperatura-na-polimery.html>
12. Модуль Юнга і його основний фізичний зміст. URL: <https://faqukr.com/osvita/34841-modul-junga-i-jogo-osnovnij-fizichnij-zmist.html>

References

1. Analysis of the main types of special footwear and materials for its manufacture: Light industry №3. 2014, 42 с.
2. Vashchuk N.F. Development of innovative technologies in the modern production of special footwear: Fashion Industry. Fashion Industry. - 2019. - № 3. - С. 34-39.
3. Kozar O.P. Formation of the properties of footwear materials for special footwear: PhD thesis - Kyiv: KNUTD, 2020.
4. Design and manufacture of special footwear for individual orders // Design Technologies. - 2021. - No. 2. - P. 102-110.
5. Obrizan V.A., Dug V.V. The use of the latest materials in the production of special footwear // Bulletin of Scientific Research. - 2022. - №4. - P. 56-62.
6. Lobanova GE, Lyba VP Comparative characteristics of the improved and existing technology for the manufacture of special footwear at enterprises: Visnyk of Khmelnytsky National University. 2010 - No. 1 - P. 225-230.
7. Polovnikov I.I. Research technologies in the production of special footwear: monograph. Lviv: Lviv Commercial Academy Publishing House. 2014. -368 с.
8. Theoretical and experimental studies of consumer properties of sports shoes for skateboarding: monograph. Lviv: Lviv Commercial Academy Publishing House, 2012. 404 p.
9. Popovych N.I., Bednarchuk M.S. Nomenclature of indicators of the level of quality of footwear for optimization of its trade assortment: Bulletin of LTEU. Technical sciences. 2014, 78 - 82 с.
10. Kulik, T.I.; Garkavenko, S.S.; Zlotenko, B.M. Study of diffusion phenomena in the contact zone of polymeric materials melt flows in the process of injection molding: Light industry №4. 2016, 37 -41 с.
11. What is the effect of temperature on polymers / Intmax. URL: <https://intmax.com.ua/zastosuvannya/yakyy-vplyv-maye-temperatura-na-polimery.html>.
12. Young's module and its basic physical meaning. URL: <https://faqukr.com/osvita/34841-modul-junga-i-jogo-osnovnij-fizichnij-zmist.html>