

УДК 685.34

**ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПІДОШВИ ДО СТИРАННЯ ТА  
БАГАТОРАЗОВОГО ЗГИНАННЯ****Обрізан В. А., Злотенко Б. М., Рубцова А. О.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідити процеси випробувань підошов з полімерних матеріалів на стійкість до стирання та багаторазового згинання

**Методика.** Розглянуті методи та лабораторне обладнання для випробувань підошов з полімерних матеріалів на стійкість до стирання та багаторазового згинання, проаналізовано характер навантаження дослідних зразків.

**Результати.** Визначені показники стійкості двошарових підошов з поліуретану до стирання та багаторазового згинання, отримано аналітичні вирази для визначення руйнівних напружень в процесі випробувань.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між напруженнями та деформаціями підошов під час випробувань, з урахуванням їх геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу.

**Практична значимість.** Отримані аналітичні вирази можуть бути використані для прогнозування експлуатаційних показників полімерних підошов на основі результатів лабораторних випробувань.

**Ключові слова:** взуття, підошва, випробування, стирання, згинання, полімерний матеріал

Сьогодні в Україні виробляється широкий асортимент спеціального взуття, в тому числі й робочого для працівників різних професій. Часто до такого взуття і його деталей пред'являються певні вимоги щодо експлуатаційних показників. У зв'язку з цим важливо дослідити процес випробування робочого взуття в лабораторних умовах, максимально наближених до умов його експлуатації.

**Постановка завдання**

Робоче взуття, яке виготовляється ТОВ «Завод металовиробів «Вертикаль» досліджується згідно з ДСТУ EN 20344:2016. Основними показниками, які характеризують якість та довговічність підошви, згідно цього стандарту, є стійкість підошви до стирання та багаторазового згинання. Для визначення стійкості до стирання, були відібрані двошарова підошва з поліуретану ПУ/ПУ (нижній шар зносостійкий, щільністю 1-1,22 г/см<sup>3</sup>, проміжний шар ударопоглинальною щільністю 0,4-0,5 г/см<sup>3</sup>) та двошарова підошва з поліуретану ПУ/ТПУ (нижній шар зносостійкий, щільністю 1-1,22 г/см<sup>3</sup>, проміжний шар ударопоглинальною щільністю 0,55-0,65 г/см<sup>3</sup>).

Для визначення цих показників, відбирають середній розмір взуття. Зазвичай це розмір 42 за Французькою шкалою, що відповідає розміру 8 за Англійською шкалою, або для жіночого взуття відбирають розмір 39 за Французькою шкалою, що відповідає розміру 6 за Англійською шкалою. Зразки витримують при нормальних умовах, на протязі 48 годин, потім від верху досліджуваних зразків відрізають підошовну частину взуття, а з неї вирубають зразки для визначення стійкості до стирання.

Стійкість до стирання нешкіряних підошов визначають за методикою ISO 4649:2015, метод А (із вертикальною силою 10 Н на відстані стирання 40 мм). Випробні зразки можна взяти з будь-якої частини підошви. Вирубані зразки зважують та заміряють їх об'єм, після випробувань здійснюють повторне зваження та замір об'єму зразків.

Випробування стійкості до згинання проводять за допомогою спеціального пристрою, який зображено на рис. 1.

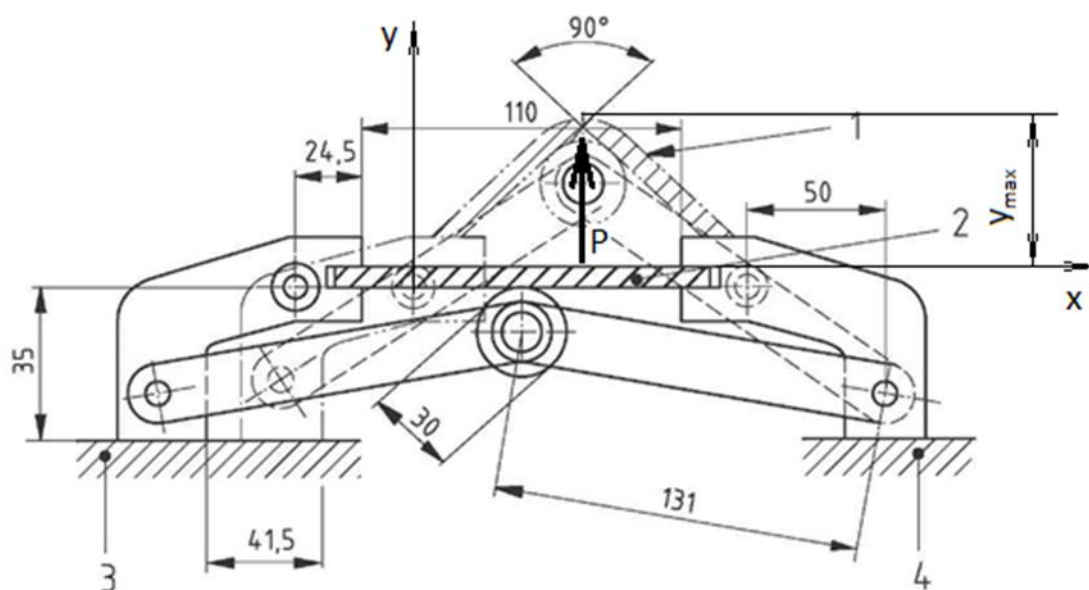


Рис. 1. Прилад для випробування стійкості підошви до згинання

Дослідний зразок має бути виставлений так, щоб одну поверхню, яка знаходиться на ролику з радіусом 15 мм, можна було згинати під кутом  $90^\circ$ . Схематично це зображено на рис. 2.

Підготовка випробного зразка. Випробним зразком є нижня частина взуття з основною устілкою, відокремленою від верху взуття. Визначають лінію згинання відповідно до методу стирання.

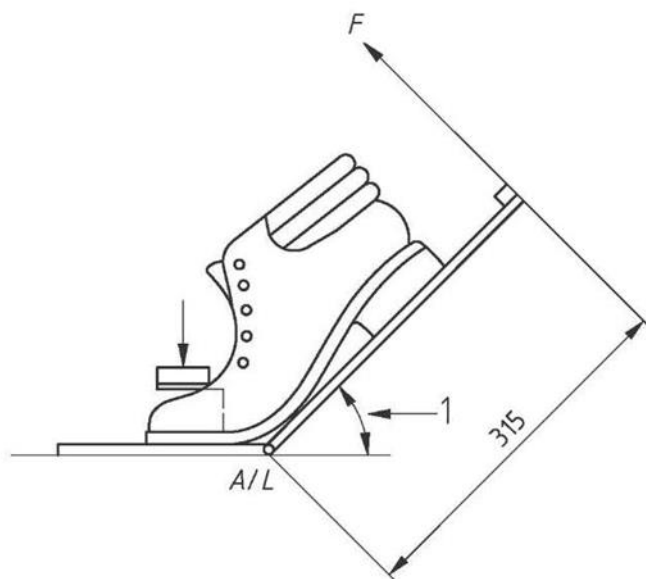


Рис. 2. Кут згинання

Відмічають місце розрізу так: знаходять центр лінії АС, потім визначають два суміжні виступи, що знаходяться якомога ближче до центру лінії АС. Відмічають місце розрізу підошви посередині між цими виступами (рис. 3).

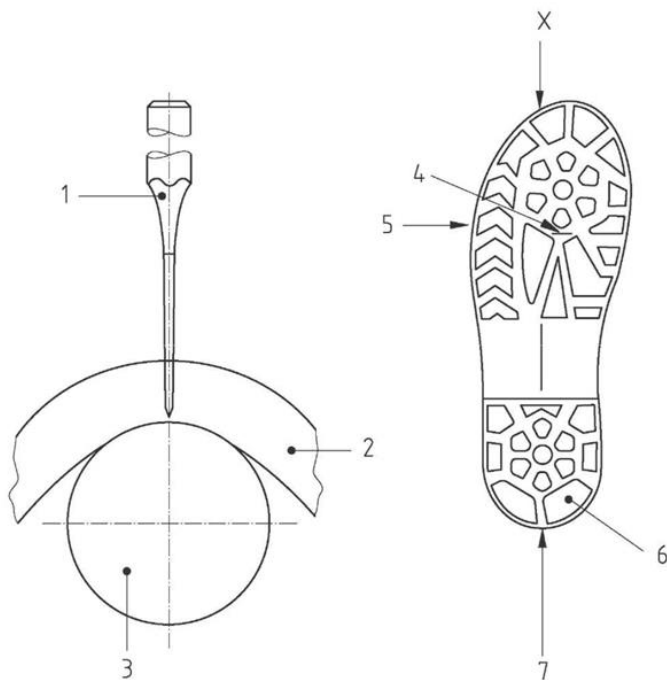


Рис. 3. Розріз підошви

Процедура випробовування. Переконаються, що пристрій для випробування згинання знаходиться в нейтральному положенні (див. рисунок 3), затискають випробний зразок у пристрої так, щоб лінія згинання АС була паралельною до центрального ролика і місце розрізу знаходилося безпосередньо над центром ролика.

Якщо зразок підошви вигнутий, то процедура затискання здійснюється так, щоб підошва знаходилася максимально близько до центру ролика без додаткового навантаження. Маніпулюють пристроєм доти, поки випробний зразок не досягне максимально зігнутого, видовженого чи натягнутого положення. Виконують один розріз у визначеному місці лезом різачка паралельно до лінії згинання АС. Різак повинен пройти через всю товщину підошви та основної устілки або рівнозначного шару. Якщо взуття містить антипрокольну вставку, то підошву розрізають тільки до контакту із вставкою. Якщо підошва складається з кількох матеріалів, потрібно зробити інший розріз на відстані не менше ніж 15 мм від краю підошви.

Вимірюють початкову довжину розрізу на поверхні випробного зразка, використовуючи вимірювальну лупу. Виконують 30000 циклів, починаючи з максимального згинання, видовження чи натягування випробного зразка, з постійною швидкістю від 135 циклів/хв. до 150 циклів/хв.

Після завершення 30000 циклів пристрій для випробування не потрібно лишати в максимально зігнутому положенні.

Після 30000 циклів вимірюють кінцеву довжину розрізу на поверхні випробного зразка, використовуючи вимірювальну лупу.

Записують кількість і розміри новоутворених тріщин, якщо вони з'явилися. Збільшення розрізу визначається як різниця між кінцевою і початковою довжиною розрізу.

### ***Результати досліджень***

Результати випробувань на стійкість до стирання та багаторазового згину підошви черевиків з верхом із шкіри литтєвого методу кріплення підошов з двошарового поліуретану (ПУ/ПУ) та поліуретану показані в таблиці.

Для прогнозування стійкості підошви до згинання важливо визначити величину руйнівних напружень, які виникають в місці її багаторазового згину. Це можна зробити на основі аналізу процесу деформації, встановивши зв'язок між напруженнями на поверхні зразка і величиною його прогину, яка для даної схеми навантаження є відомою і залежить від геометричних параметрів випробувального приладу [1, 2].

Таблиця

**Результати випробувань стирання та багаторазового згину підошви черевиків з верхом із шкіри литтєвого методу кріплення підошов з двошарового поліуретану (ПУ/ПУ) та поліуретану.**

Назви показників	НД на метод випробувань	Значення показників до НД	Результати випробувань	
			ПУ/ТПУ	ПУ/ПУ
Стійкість до стирання	ISO 4649-2014 ДСТУ EN ISO20344	Не більше 0,17 гр	0,03 гр	0,07 гр
Стійкість до багаторазового згину підошов	ISO 4649-2014 ДСТУ EN ISO 20344 п.8.4.2	Не більше 4мм	Без розростання тріщин	Без розростання тріщин

Скористаємось відомою залежністю між напруженнями і деформаціями для полімерних матеріалів [3]:

$$\sigma^m = E\varepsilon, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності;  $m$  – показник степеня.

У цьому випадку рівняння зігнутої осі зразка буде мати вигляд [4]:

$$EI_m \frac{d^2 y}{dx^2} = \left(-\frac{P}{2}x\right)^m, \quad (2)$$

де  $I_m = \frac{2b}{\frac{1}{m}+2} \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}$ ;  $b$  та  $h$  – ширина і висота зразка відповідно.

Інтегруючи це рівняння, отримаємо:

$$EI_m \frac{dy}{dx} = -\left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} x^{m+1} + C. \quad (3)$$

Постійну інтегрування знайдемо з умови: при  $x = \frac{l}{2}$  маємо  $\frac{dy}{dx} = 0$ . Таким чином:

$$0 = -\left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+1} + C. \quad (4)$$

Постійна інтегрування буде:

$$C = \left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+1}. \quad (5)$$

Підставляючи постійну інтегрування у вихідне рівняння, отримаємо:

$$EI_m \frac{dy}{dx} = -\left(\frac{P}{2}\right)^2 \frac{1}{m+1} x^{m+1} + \left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+1}. \quad (6)$$

Проінтегруємо рівняння (6):

$$EI_m y = -\left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \frac{1}{m+2} x^{m+2} + \left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+1} x + C_1. \quad (7)$$

У цьому випадку постійну інтегрування знайдемо з умови: при  $x = l$  маємо  $y = 0$ .

Таким чином, постійна інтегрування буде:

$$C_1 = 0. \quad (8)$$

Для місця найбільшого прогину, яке буде посередині зразка, з рівняння (7), враховуючи (8), отримаємо:

$$EI_m y_{max} = -\left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \frac{1}{m+2} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+2} + \left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+1} \frac{l}{2}. \quad (9)$$

Після перетворень отримаємо:

$$EI_m y_{max} = \left(\frac{P}{2}\right)^m \frac{1}{m+1} \left(\frac{l}{2}\right)^{m+2} \left(1 - \frac{1}{m+2}\right). \quad (10)$$

Звідки величина максимального прогину зразка:

$$y_{max} = \frac{m P^m l^{m+2}}{2^{2+2m} (m+2) EI_m}. \quad (11)$$

Підставляючи в (11) значення  $I_m$ , після перетворень отримаємо:

$$y_{max} = \frac{mP^m l^{m+2} \left(\frac{1}{m} + 2\right) \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}}{2^{3+2m} (m+2) E b} . \quad (12)$$

З (12) можна визначити величину зусилля, прикладеного до середини зразка:

$$P = \sqrt[m]{\frac{2^{3+2m} (m+2) E b y_{max}}{m l^{m+2} \left(\frac{1}{m} + 2\right) \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}}} . \quad (13)$$

У даному випадку напруження пов'язані зі згинаючим моментом залежністю [5]:

$$\sigma = \frac{M \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}}}{I_m} . \quad (14)$$

Згинаючий момент буде:

$$M = P \frac{l}{2} . \quad (15)$$

Підставляючи (15) в (14), отримаємо:

$$\sigma = \frac{P \frac{l}{2} \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}}}{I_m} . \quad (16)$$

Підстановка в (15) значення  $I_m$  дає:

$$\sigma = \frac{2 \left(\frac{1}{m} + 2\right) P}{b h^2} . \quad (17)$$

Остаточо, підставляючи (17) в (13), отримаємо вираз для визначення руйнівних напружень, які виникають на поверхні зразка:

$$\sigma = \frac{2\left(\frac{1}{m} + 2\right)}{bh^2} \sqrt[m]{\frac{2^{3+2m}(m+2)Eby_{max}}{ml^{m+2}\left(\frac{1}{m} + 2\right)\left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}}}. \quad (18)$$

### Висновки

Отримані данні показують втрату ваги та об'єму зразків підошви від стирання, і відповідно показують якість матеріалу підошви. Фізико-механічні властивості обох досліджуваних підошов відповідають вимогам стандарту. Різниця в показниках не є принциповою, а обрання найкращої комбінації матеріалів підошви лежить в економічній площині. Отримані аналітичні вирази для визначення руйнівних напружень в процесі випробувань можуть бути використані для прогнозування експлуатаційних показників полімерних підошов на основі результатів лабораторних випробувань.

### Список використаних джерел

1. Belyaev, N. M. Strength of materials / N. M. Belyaev. – М. : Mir, 1979. – 648 p.
2. Timoshenko S. P. Strength of Materials / S. P. Timoshenko. – New York : Van Nostad Reinhold, 1948. – 510 p.
3. Лебедев В. С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания / Лебедев В. С. – М.: Легпромиздат, 2010. – 335 с.
4. Kulik T. I. Effect of orientational strengthening of polymeric material on mechanical properties of products / T. I. Kulik // The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering. – 2017. – №1(79). – С. 18-22.
5. Порубенська Л. М. Визначення згинальних напружень в полімерних деталях низу взуття / Л. М. Порубенська, Т. І. Кулік, Б. М. Злотенко. // Технології та дизайн. – 2016. – №3. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2016\\_3\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_2)

### References

1. Belyaev, N.M. (1979). *Strength of materials* [Strength of materials]. Moscow [in English].
2. Timoshenko, S.P. (1948). *Strength of Materials* [Strength of materials]. New York [in English].
3. Lebedev, V.S. (2010). *Tekhnolohycheskye protsessy mashyn y apparatov v proyzvodstvakh bytovoho obsluzhyvaniya* [Technological processes of machines and apparatuses in consumer services] Moscow [in Russian].
4. Kulik, T.I. (2017). *Effect of orientational strengthening of polymeric material on mechanical properties of products* [Effect of orientational strengthening of polymeric material on mechanical properties of products] *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering – The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering, №1(79), 18-22* [in English]
5. Porubenska, L.M., Kulik, T.I. & Zlotenko B.M. (2016). *Vyznachennia zghynalnykh napruzhen v polimernykh detaliakh nyzu vzuttia* [Determination of bending stresses in polymer parts of the bottom of the shoe] *Tekhnolohii ta dyzain – Technologies and design, №3*. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2016\\_3\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_2) [in Ukrainian].



**Obrizan Vladimir**  
[vladest7@gmail.com](mailto:vladest7@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

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

**Rubtsova Anna**  
[annakirchner12@gmail.com](mailto:annakirchner12@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Определение устойчивости подошвы к истиранию и многократному изгибу**  
**Обризан В. А., Злотенко Б. Н., Рубцова А. А.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Исследовать процессы испытаний подошв из полимерных материалов на устойчивость к истиранию и многократному изгибу.

**Методика.** Рассмотрены методы и лабораторное оборудование для испытаний подошв из полимерных материалов на устойчивость к истиранию и многократному изгибу, проанализирован характер нагрузки опытных образцов.

**Результаты.** Определены показатели устойчивости двухслойных подошв из полиуретана к истиранию и многократному изгибу, получены аналитические выражения для определения разрушающих напряжений в процессе испытаний.

**Научная новизна.** Установлена взаимосвязь между напряжениями и деформациями подошв во время испытаний, с учетом их геометрических параметров и физико-механических свойств полимерного материала.

**Практическая значимость.** Полученные аналитические выражения могут быть использованы для прогнозирования эксплуатационных показателей полимерных подошв на основе результатов лабораторных испытаний.

**Ключевые слова:** обувь, подошва, испытания, истирание, изгиб, полимерный материал

**Determination of sole resistance to erasure and multiple flexing**

**Obrizan V. A., Zlotenko B. N., Rubtsova A. A.**

*Kyiv National University of Technology and Design*

**Purpose.** To study the process of testing soles from polymeric materials for abrasion resistance and multiple bending.

**Methodology.** Methods and laboratory equipment for testing soles from polymeric materials for abrasion resistance and multiple bending are considered, the nature of the load of the test specimens is analyzed.

**Findings.** The relationship between stresses and strains was determined during the tests, taking into account their geometrical parameters and the physical and mechanical properties of the polymeric material.

**Originality.** The indices of resistance of two-layer soles made of polyurethane to abrasion and multiple bending were determined, analytical expressions were obtained to determine the destructive stresses during the tests.

**Practical value.** The analytical expressions obtained can be used to predict the performance of polymeric soles based on the results of laboratory tests.

**Keywords:** Shoes, sole, testing, abrasion, bending, polymeric material.