

УДК 685.34.025.432

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗГИНАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ В ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ НИЗУ ВЗУТТЯ

Порубенська Л. М., Кулік Т. І., Злотенко Б. М.

Київський національний університет технологій і дизайну

*В даній статті представлені результати проектування підошви за допомогою програмного забезпечення САПР SolidWorks. Використано сучасне програмне забезпечення для моделювання згину підошви під дією навантажень. Показано вплив навантаження в різних ділянках підошви при ходьбі, та ділянки, в яких можлива деформація підошви.*

**Ключові слова:** лиття під тиском, проектування підошви взуття, комп'ютерне моделювання, навантаження, деформація, SolidWorks

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 і охолодженням. Таким методом можна виготовляти вироби будь-якої складності за формою, практично, без втрат матеріалу.

Підошва – одна 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. Підошва взуття повинна бути одночасно пружною і гнучкою, а також мати достатню жорсткість та міцність. Забезпечення міцності має важливе значення при проектуванні взуття, оскільки підошва сприймає різні види деформацій, таких як багаторазовий згин, розтяг та стискання. Проектування підошви взуття із врахуванням перелічених факторів сприятиме підвищенню її міцності та збільшенню довговічності [1-4].

На сьогодні для взуттєвої промисловості розроблено велику кількість програмних засобів, використання яких допомагає скоротити час виходу на ринок продукту [5]. 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 SolidWorks. Цей інструмент дозволяє користувачеві створювати складні конструкції і виконувати механічне моделювання.

Autodesk Simulation Moldflow – це набір засобів моделювання процесу лиття пластмас під тиском. Він дозволяє оптимізувати проектування пластмасових деталей і ливарних форм за допомогою точного прогнозування процесу лиття. За допомогою Moldflow Autodesk Simulation можна домогтися зниження потреби в дослідних зразках, усунути потенційні виробничі дефекти і швидше виводити на ринок інноваційну продукцію.

### **Постановка завдання**

Метою дослідження є розробка методів розрахунку деталей легкої промисловості, зокрема підшов взуття з використанням сучасних засобів комп'ютерного математичного моделювання.

### **Результати досліджень**

Для визначення напружень в деталі взуття під час її згину скористаємось функцією зв'язку між деформаціями та нормальними напруженнями в полімерних матеріалах [6]:

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

де  $m$  – показник степеня, який змінюється в межах від 0,6 до 1 (при  $m=1$  тіло виявляє пружні властивості).

Розглянемо чистий згин деталі на рис. 1, для якої  $m \neq 1$ .

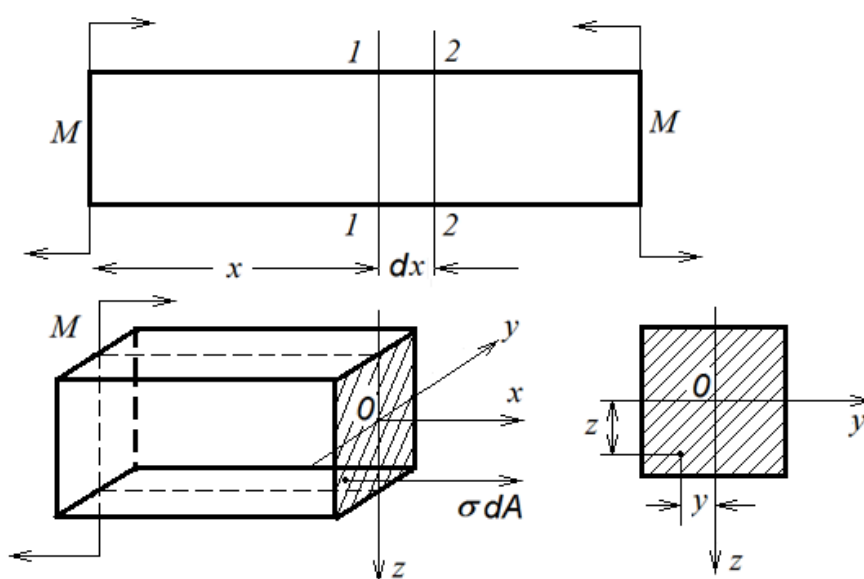


Рис. 1. Схема навантаження балки при згині

З умов рівноваги випливає:

$$\Sigma X = 0 \text{ або } \int_A \sigma dA = 0, \quad (2)$$

$$\Sigma M_y = 0, \quad M - \Sigma dNz = 0 \text{ або } M - \int_A \sigma z dA = 0, \quad (3)$$

звідки:

$$\int_A \sigma z dA = M, \quad (4)$$

$$\Sigma M_z = 0, \quad \Sigma dN_y = 0 \text{ або } \int_A \sigma y dA = 0, \quad (5)$$

Форма елемента балки до і після деформування наведена на рис. 2.

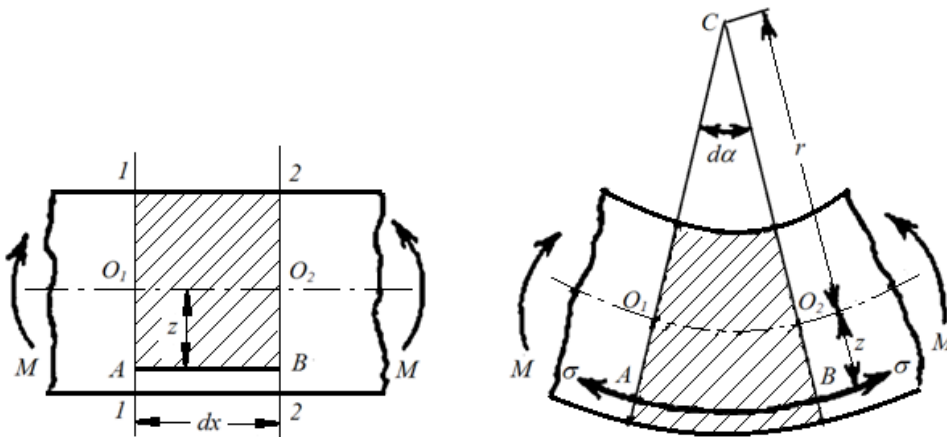


Рис. 2. Форма елемента балки до і після деформування

Початкова довжина волокна  $AB$ , яке знаходиться на відстані  $z$  від нейтральної осі і розтягнутого під дією напружень  $\sigma$ :

$$dx = \cup O_1 O_2 = r \cdot d\alpha. \quad (6)$$

Після деформації її довжина:

$$\cup AB = (r+z) \cdot d\alpha. \quad (7)$$

Абсолютне видовження волокна:

$$\Delta l = (r+z) \cdot d\alpha - r \cdot d\alpha = z \cdot d\alpha. \quad (8)$$

Отже, відносне видовження:

$$\varepsilon = \frac{z \cdot d\alpha}{r \cdot d\alpha} = \frac{z}{r}. \quad (9)$$

З (1) випливає:

$$\sigma = (E\varepsilon)_m. \quad (10)$$

Підставимо (9) в (10):

$$\sigma = \left( E \frac{z}{r} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (11)$$

Підставимо (11) в (4):

$$\int_A \left( E \frac{z}{r} \right)^{\frac{1}{m}} z dA = M. \quad (12)$$

Перепишемо у вигляді:

$$\left( E/r \right)^{\frac{1}{m}} \int_A z^{\frac{1}{m}+1} dA = M. \quad (13)$$

Позначимо інтеграл в (13):

$$I_m = \int_A z^{\frac{1}{m}+1} dA. \quad (14)$$

З урахуванням (13) і (14), маємо:

$$\left( E/r \right)^{\frac{1}{m}} I_m = M \quad \text{або} \quad \left( E/r \right)^{\frac{1}{m}} = \frac{M}{I_m}. \quad (15)$$

Для визначення напружень перетворимо (15) до вигляду:

$$\left( E/r \right)^{\frac{1}{m}} = \frac{\sigma}{z^{\frac{1}{m}}}. \quad (16)$$

Підставимо (16) в (15):

$$\sigma = \frac{Mz^{\frac{1}{m}}}{I_m}, \quad (17)$$

або

$$I_m = \frac{Mz^{\frac{1}{m}}}{\sigma}. \quad (18)$$

Інтеграл (14) для балки прямокутного поперечного перетину (рис. 3) може бути представлений у вигляді:

$$\begin{aligned} I_m &= \int_A z^{\frac{1}{m}+1} dA = \int_{-h/2}^{h/2} z^{\frac{1}{m}+1} b dz = b \int_{-h/2}^{h/2} z^{\frac{1}{m}+1} dz = \\ &= \frac{b}{\frac{1}{m}+2} \left[ z^{\frac{1}{m}+2} \right]_{-h/2}^{h/2} = \frac{2b}{\frac{1}{m}+2} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{1}{m}+2} \end{aligned} \quad (19)$$

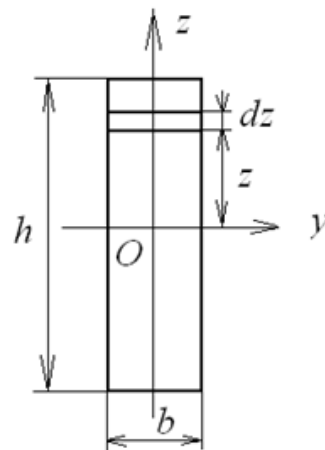


Рис. 3. Схема поперечного перетину балки

Для порожнистої балки:

$$I_m = I_m(B, H) - I_m(b, h) = \frac{2}{\frac{1}{m} + 2} \left[ B \left( \frac{H}{2} \right)^{\frac{1}{m} + 2} - b \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{1}{m} + 2} \right], \quad (20)$$

де  $I_m(B, H)$  і  $I_m(b, h)$  – величини, визначені для суцільних балок з розмірами перетинів  $B \times H$  і  $b \times h$  відповідно.

На рис. 4 наведено результати розрахунку напружень за формулою (17), з урахуванням (19).

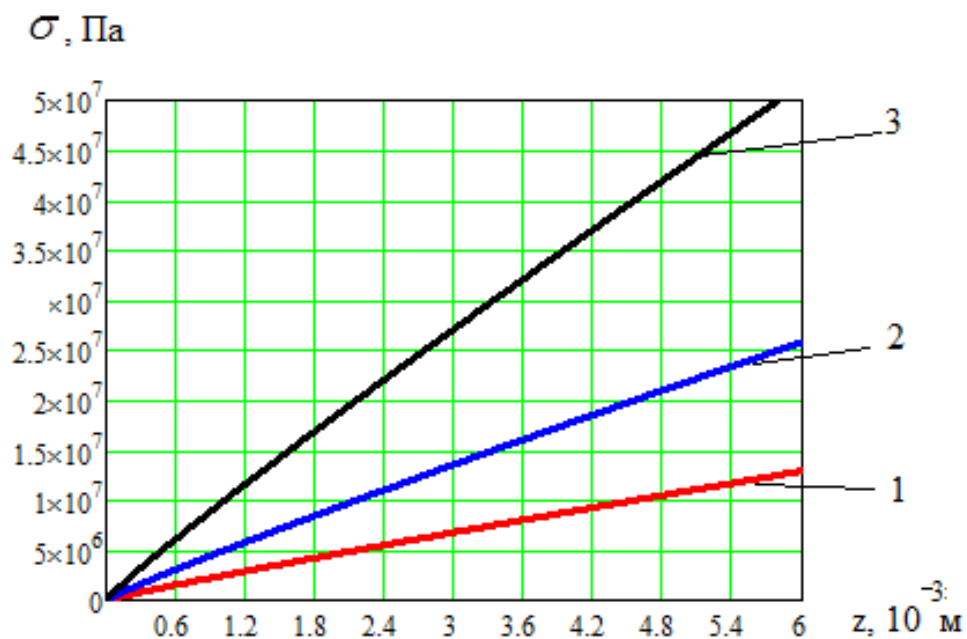


Рис. 4. Залежність напружень від вертикальної координати для балки квадратного поперечного перетину: 1 –  $M = 0.25$  Н·м; 2 –  $M = 0.5$  Н·м; 3 –  $M = 1$  Н·м

Вирази (2) – (4) дозволяють лише наближено моделювати поведінку підошви в процесі носіння взуття, оскільки не враховують її складної геометричної форми.

Використання сучасного програмного продукту SolidWorks дозволяє значно підвищити точність розрахунку деформацій та напружень в тілі підошви. В результаті проведеного моделювання згину підошви під дією експлуатаційних навантажень отримані поля розподілу деформацій та напружень, які представлені на рис. 5.

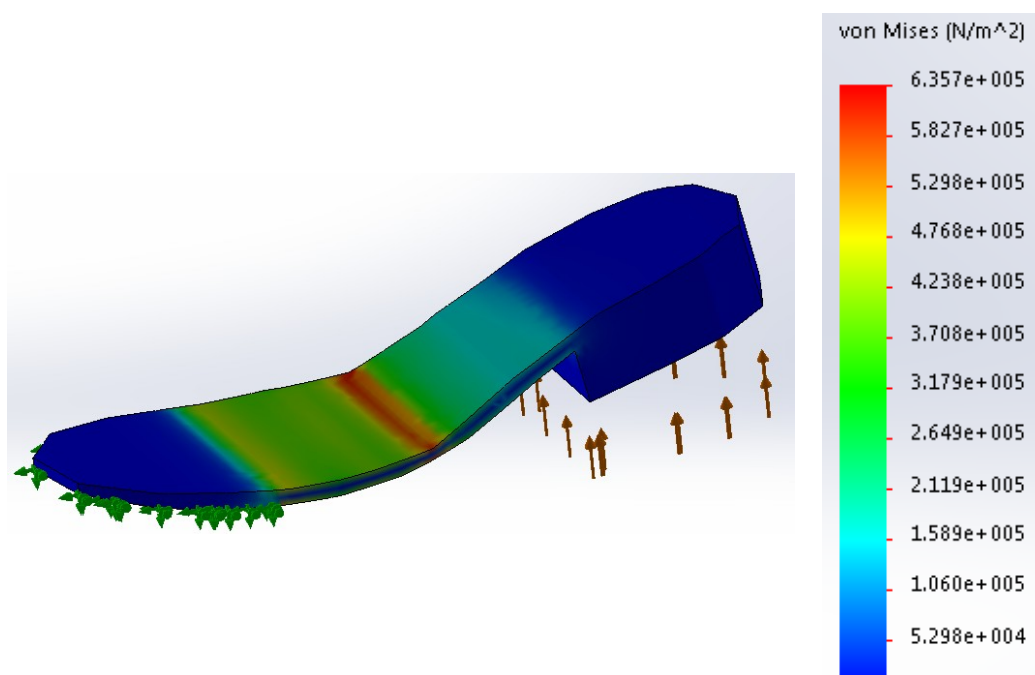


Рис. 5. Схема розподілення навантажень у підошві взуття під час ходьби

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

### **Висновки**

Із модельованих схем видно, як розподіляється навантаження під час ходьби. На початку ходьби основне навантаження приходить на геленкову частину підошви. Під час відриву підошви від поверхні навантаження розподіляється рівномірно по всій підошві.

Таким чином, встановивши розподіл навантаження по поверхні підошви, можна прогнозувати, у якій частині виробу напруження полімеру найбільші та можлива деформація його. 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.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Злотенко Б. М. Лиття полімерів під тиском: Конспект лекцій з дисципліни «Інноваційні технології на підприємствах взуттєвої та шкіргалантерейної галузі» / Упор. Б. М. Злотенко. – К. : КНУТД, 2015. – 27 с.
2. Лапшин В. В. Основы переработки термопластов литьём под давлением / Лапшин В. В. – М. : Химия, 1974. – 271с.
3. Олійникова В. В. Основы технології виробів зі шкіри: Конспект лекцій з дисципліни «Основы технології виробів зі шкіри» для студентів спеціальності 6.091820 «Взуття, шкіргалантерейні та лимарні вироби» / Упор. В. В. Олійникова. – К. : КНУТД, 2006. – 121 с.
4. Злотенко Б. М. Розробка принципів проектування прес-форм для виготовлення деталей низу взуття. Автореф. дис. на пошук. вч. ст. канд. техн. наук. – К. : ДАЛПУ, 1994. – 24 с.
5. Норенков И. П. Основы теории и проектирования САПР / Норенков И. П., Маничев В. Б. – М. : Высшая школа, 2003. – 125 с.
6. Kulik T. I. Strength and deformation of polymer pieces at the light industry / T. I. Kulik, O. P. Burmistenkov, B. M. Zlotenko // Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. – № 2(46). – С. 62-68.

***Определение напряжений изгиба в полимерных деталях низа обуви***

***Порубенская Л. Н., Кулик Т. И., Злотенко Б. Н.***

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

*В данной статье представлены результаты проектирования подошвы с помощью программного обеспечения САПР SolidWorks. Использовано современное программное обеспечение для моделирования сгиба подошвы под действием нагрузок. Показано влияние нагрузки в различных участках подошвы при ходьбе, и участки, в которых возможна деформация подошвы.*

***Ключевые слова:*** *литье под давлением, проектирование подошвы обуви, компьютерное моделирование, нагрузки, деформация, SolidWorks*

***Determinations of the bending stresses in polymer details in the bottom parts of shoes***

***Porubenska L. N., Kulik T. I., Zlotenko B. N.***

*This article presents the results of projecting the sole with using the software program CAD SolidWorks. The modern software has been used for the modeling bend of the sole under an action of the loads. Shown the influence of load in different areas of the sole during walking, and areas, in which is possible the deformation of a sole.*

***Keywords:*** *injection molding, projecting soles of footwear, computer modeling, loads, deformation, SolidWorks*