

УДК 539.371 : 685.34.023.4

Т.І. КУЛІК

Київський національний університет технологій та дизайну

МЕТОД РОЗРАХУНКУ СТРИЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НИЗУ ВЗУТТЯ ПРІ КРУЧЕННІ

У статті досліджується вплив експлуатаційних навантажень на характер деформацій полімерної підошви взуття, конструкція якої включає активні елементи стрижневої форми. Встановлено, що в момент відштовхування стопи від опорної поверхні стрижневі елементи, вісь яких розташована паралельно до ходової поверхні підошви перпендикулярно до осі сліду працюють на кручення. Метою дослідження є визначення раціональних конструктивних параметрів підошви, які забезпечуватимуть її необхідну міцність та жорсткість. У випадку використання полімерних матеріалів дана задача ускладнюється через нелінійний характер залежності між напруженнями та деформаціями у виробі. На основі виразів для визначення максимальних зсувних напружень та максимального кута закручування балки отримано формули для розрахунку необхідних радіусів активних елементів стрижневої та трубчастой форми. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні спортивного та інших видів спеціального взуття, а також можуть представляти інтерес для інженерів у інших галузях, де виникає необхідність розрахунку полімерних деталей.

Ключові слова: підошва взуття, споживчі характеристики взуття, полімерна балка, напруження, деформація кручення.

Т.И. КУЛИК

Киевский национальный университет технологий и дизайна

МЕТОД РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НИЗА ОБУВИ ПРИ КРУЧЕНИИ

В статье исследуется влияние эксплуатационных нагрузок на характер деформаций полимерной подошвы обуви, конструкция которой включает активные элементы стержневой формы. Установлено, что в момент отталкивания стопы от опорной поверхности стержневые элементы, ось которых расположена параллельно ходовой поверхности подошвы перпендикулярно оси следа работают на кручение. Целью исследования является определение рациональных конструктивных параметров подошвы, обеспечивающих ее необходимую прочность и жесткость. В случае использования полимерных материалов данная задача усложняется вследствие нелинейного характера зависимости между напряжениями и деформациями в изделии. На основе выражений для определения максимальных сдвиговых напряжений и максимального угла закручивания балки получены формулы для расчета необходимых радиусов активных элементов стержневой и трубчатой формы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании спортивной и других видов специальной обуви, а также могут представлять интерес для инженеров других отраслей, где возникает необходимость расчета полимерных деталей.

Ключевые слова: подошва обуви, потребительские свойства обуви, полимерная балка, напряжения, деформация кручения.

T.I. KULIK

Kyiv National University of Technology and Design

METHOD FOR CALCULATION OF ROD-LIKE ELEMENTS OF SHOE BUTTOM FOR TORSION

The paper examines the impact of operational stress on the nature of the deformation polymer shoe soles, whose design includes active elements of rod shape. It is established that at the time of push of a foot on the supporting surface the elements, axes of which are parallel to the running surface of the sole perpendicular to its axis work on torsion. The study aims to determine the rational design parameters soles that provide its necessary strength and rigidity. In the case of polymers usage, this task is complicated by the nonlinear relationship between the stresses and strains in the product. Based on expressions to determine the maximum shear stress and maximum angle of twist of a beam the formulae obtained for calculating the required radii of active elements of rod and tube form. The results can be used in the design of sports and other types of footwear, and may also be of interest to engineers in other fields where it is necessary to calculate plastic parts.

Keywords: sole shoes, consumer characteristics of shoes, plastic beams, tension, torsion.

Постановка проблеми

Сьогодні ринок взуття пропонує широкий асортимент моделей, призначених як для повсякденного використання, так і для різних спеціальних цілей. Сучасне спеціальне взуття має складну конструкцію та виготовляється з матеріалів, які надають йому унікальних властивостей. Широкого поширення у виготовленні такого взуття набули полімерні матеріали, що пояснюється їх високими фізико-механічними характеристиками, меншою вартістю у порівнянні з натуральними матеріалами, високою технологічністю.

Складна конструкція виробів вимагає відповідального підходу до процесу їх проектування, проте розрахунки деталей із полімерних матеріалів пов'язані з певними труднощами [1-3]. Класичні методи інженерних розрахунків не дозволяють отримати результат з високою точністю, оскільки пружні властивості полімерів не підкоряються закону Гука. На відміну від пружних матеріалів, полімери мають нелінійний зв'язок між напруженнями та деформаціями, що обмежує використання відомих методів опору матеріалів для розрахунку таких деталей на міцність та жорсткість. Отже, виникає необхідність розробки нових методів розрахунку напружень при різних видах деформації полімерних елементів, що сприятиме підвищенню якості як окремих деталей, так і взуття в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Взуття може включати підшви спеціальних конструкцій з елементами складної форми з метою забезпечення специфічних експлуатаційних властивостей, наприклад, для покращення показників атлетів у різних видах спорту. Такими елементами можуть бути стрижневі або трубчасті деталі, які є частиною підшви та призначені для амортизації динамічних навантажень (рис. 1) [4-8].



Рис. 1. Підшва взуття, що містить елементи трубчастої форми

Ці елементи піддаються складному навантаженню в процесі носіння взуття під час різних фаз ходьби або бігу. Так, при приземленні та відштовхуванні від ґрунту елементи, вісь яких розташована паралельно до поверхні підшви перпендикулярно до осі сліду, працюють на кручення і стискання (рис. 2) [9].



Рис. 2. Деформація трубчастих елементів підшви у процесі носіння взуття

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є визначення напружень та деформацій, що виникають у суцільних та порожнистих стрижневих елементах підшви у процесі експлуатації взуття та визначення оптимальної конструкції підшви, яка включає активні елементи стрижневої форми, що дозволить уникнути її руйнування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Якщо на деталь діють два рівні протилежні моменти, прикладені в паралельних до її осі площинах, вона піддається крученню. Напруження, які виникають в деталі, є тангенціальними напруженнями кручення, які дорівнюють нулю на осі і набувають максимального значення на поверхні.

Напруження зсуву представимо за формулою [10]:

$$\tau^m = \gamma G, \quad (1)$$

де τ – тангенціальні напруження;

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

G – модуль пружності при зсуві;

γ – кут зсуву.

Найбільші зсувні напруження діють на поверхні балки:

$$\tau = \frac{T}{I_{0m}} r^{\frac{1}{m}}, \quad (2)$$

де T – крутний момент;

I_{0m} – аналог моменту інерції;

r – радіус стрижневого елемента.

Кут закручування:

$$\varphi = \frac{\left(\frac{T}{I_{0m}}\right)^m}{G} l, \quad (3)$$

де l – довжина стрижневого елемента.

Величина I_{0m} для суцільної балки визначається як [10]:

$$I_{0m} = \frac{1}{\frac{1}{m} + 3} R^{\frac{1}{m} + 3}. \quad (4)$$

У випадку порожнистої балки отримаємо:

$$I_{0m} = I_{0m}(R) - I_{0m}(r) = \frac{1}{\frac{1}{m} + 3} R^{\frac{1}{m} + 3} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{m} + 3}\right). \quad (5)$$

де $I_{0m}(R)$ і $I_{0m}(r)$ – величини, визначені для суцільних балок радіусів R і r відповідно.

Визначимо радіус суцільного стрижневого елемента круглого поперечного перетину з умови міцності.

Підставляючи (4) в (2), отримаємо:

$$\tau = \frac{T}{r^3} \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right). \quad (6)$$

З (6) отримаємо вираз для розрахунку радіуса елемента при відомому моменті і допустимих тангенціальних напруженнях:

$$r = \sqrt[3]{\frac{T}{[\tau]} \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}. \quad (7)$$

На рис. 3 наведено графічні залежності, розраховані за виразом (7). З представлених графіків випливає, що зростання крутного моменту потребує збільшення розрахункового радіуса елемента у відповідності зі степеневим законом з показником 1/3.

Визначимо радіус стрижневого елемента круглого поперечного перетину з умови жорсткості.

Підставляючи (4) в (2) і (3), отримаємо:

$$\varphi = \frac{l}{G} \cdot \left[\frac{T}{r^{\frac{1}{m} + 3}} \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right) \right]^m. \quad (8)$$

При відомому модулі зсуву G і допустимому куті закручування $[\varphi]$ з (8) отримаємо вирази для розрахунку радіуса елемента:

$$r = \frac{1}{m} + 3 \sqrt[3]{\frac{T \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{\sqrt[m]{\frac{G \cdot [\varphi]}{l}}}}. \quad (9)$$

На рис. 4 наведені графічні залежності, розраховані за виразом (9). З наведених графіків слідує, що необхідний розрахунковий радіус зростає зі збільшенням крутного моменту відповідно до степеневого закону із показником $\frac{1}{\frac{1}{m} + 3}$.

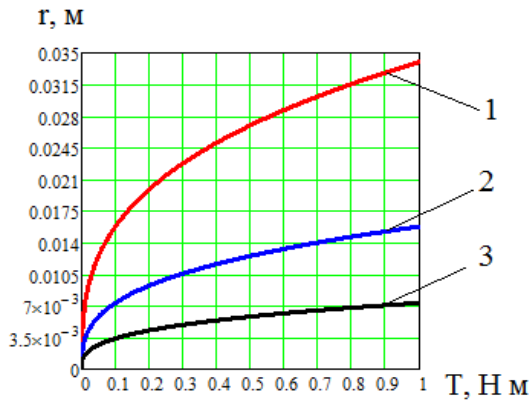


Рис. 3. Залежність радіуса деталі від крутного моменту при значеннях допустимих напружень: 1 – $[\tau] = 10^5 \text{ Н/м}^2$; 2 – $[\tau] = 10^6 \text{ Н/м}^2$; 3 – $[\tau] = 10^7 \text{ Н/м}^2$

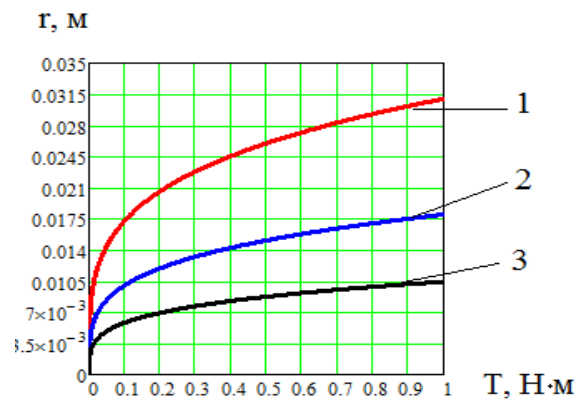


Рис. 4. Залежність радіуса деталі від крутного моменту при допустимих значеннях кута закручування: 1 – $\varphi = 0.001 \text{ рад}$; 2 – $\varphi = 0.01 \text{ рад}$; 3 – $\varphi = 0.1 \text{ рад}$

Визначимо радіус порожнистого стрижневого елемента круглого поперечного перетину з умови міцності.

Підставляючи (5) в (2), отримаємо:

$$\tau = \frac{T \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right) \cdot r^{\frac{1}{m}}}{r^{\frac{1}{m}+3} \left(\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1 \right)} \tag{10}$$

Приймаючи конструктивно співвідношення $\frac{R}{r}$ та обмежуючи тангенціальні напруження, можна визначити конструктивні параметри елемента за умови міцності:

$$r = \sqrt[3]{\frac{T \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1} \cdot [\tau]} \tag{11}$$

Визначимо радіус порожнистого стрижневого елемента з умови закручування на заданий кут.

Підставляючи (5) в (3), отримаємо:

$$\varphi = \frac{l}{G} \left(\frac{T \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{r^{\frac{1}{m}+3} \left(\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1 \right)} \right)^m \tag{12}$$

З (12) можна визначити внутрішній радіус елемента, задаючись допустимим значенням кута повороту за умови забезпечення жорсткості:

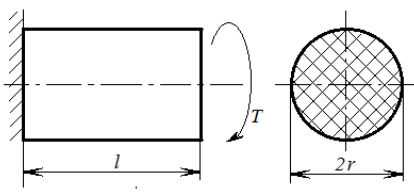
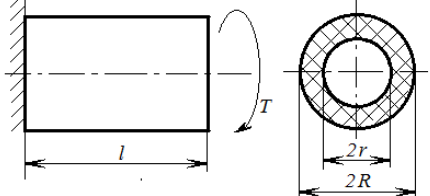
$$r = \sqrt[3m+1]{\frac{T \cdot l \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{G \cdot \left(\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1\right) \cdot [\varphi]}} \quad (13)$$

Висновки

На основі математичної моделі кручення полімерної балки отримані аналітичні вирази для визначення тангенційних напружень та кута закручування стрижневих елементів підшов спеціального взуття. Запропоновані формули для розрахунку радіусів суцільної та порожнистої балок за умов забезпечення міцності при відомих моментах та допустимих тангенційних напруженнях та за умов забезпечення жорсткості при відомому модулі зсуву та допустимому куті закручування. Отримані вирази зведено до таблиці.

Таблиця

Формули для розрахунку радіусу деталей з полімерних матеріалів для забезпечення заданої міцності та жорсткості

	Суцільна балка	Порожниста балка
		
Забезпечення міцності	$r = \sqrt[3]{\frac{T}{[\tau]} \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}$	$r = \sqrt[3]{\frac{T}{[\tau]} \cdot \frac{\left(\frac{1}{m} + 3\right)}{\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1}}$
Забезпечення жорсткості	$r = \sqrt[\frac{1}{m}+3]{\frac{T \cdot l \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{G \cdot [\varphi]}}$	$r = \sqrt[3m+1]{\frac{T \cdot l \cdot \left(\frac{1}{m} + 3\right)}{G \cdot \left(\left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{1}{m}+3} - 1\right) \cdot [\varphi]}}$

Результати дослідження можуть бути використані для проектування спортивного та інших видів спеціального взуття, а також можуть представляти інтерес для інженерів інших галузей, де виникає необхідність розрахунку полімерних деталей.

Список використаної літератури

1. Кулезнев В. Н. Основы технологии переработки пластмасс / под ред. В. Н. Кулезнёва и В. К. Гусева. – М. : Химия, 2006. – 726 с.
2. Пахаренко В. А. Переработка полимерных композиционных материалов / В. А. Пахаренко, Р. А. Яковлева, А. В. Пахаренко. — К. : Воля, 2006. – 552 с.
3. Тагер А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. – Изд. 4-е, перер. и дополн. – М. : Научный мир, 2007. – 576 с.
4. Adidas by Raf Simons Raf Simons Bunny Bounce | Röd | Sneakers | B26176 | Caliroots. – Caliroots [3 мережі] // Режим доступу: <https://caliroots.se/adidas-by-raf-simons-raf-simons-bunny-bounce-b26176/p/26020>. – 21.03.2017.
5. Adidas scarpe uomo Adidas Titan Bounce scarpe, adidas scarpe da calcio alte. – Scarpe Adidas Store [3 мережі] // Режим доступу: <http://www.frsc.it/adidas-titan-bounce-scarpe-c-36.html>. – 21.03.2017.

6. Raf Simons x adidas Bounce | Nice Kicks. – Nice Kicks [З мережі] // Режим доступу: <http://www.nicekicks.com/raf-simons-x-adidas-bounce/>. – 21.03.2017.
7. Пат. 2294680 Российская федерация, МПК (2016.01) А43В 13/18, А43В 13/20, А63В 25/10. Подошва / Брауншвайлер Х. Г.; заявитель и патентообладатель ГЛИДЕ'Н ЛОК ГМБХ. – № 2004138813/12; заявл. 05.06.2003; опубл. 10.03.2007, Бюл. № 7.
8. Пат. 2330593 Российская федерация, МПК (2016.01) А43В 13/18, А43В 3/00. Подошва для обуви / Шонборн М. Л., Рирдон Д. Р.; заявитель и патентообладатель Волверайн Ворлд Вайд, Инк. – № 2006107064/12; заявл. 09.03.2006; опубл. 10.08.2008, Бюл. № 22.
9. Mathew J. D. Effect of acceleration on optimization of Adidas Bounce shoes [Text] / Mathew James Dickson, Franz Konstantin Fussa // 5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST). – Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 13. – P. 107-112.
10. Кулік Т. І. Напруження і деформації при крученні полімерних деталей / Т. І. Кулік, Б. М. Злотенко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2016. – № 3. – С. 28-33.