

УДК 685.34.025:51

Г.В.Савченко

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМОСТВОРЕННЯ ВЗУТТЄВИХ ЗАГОТОВОК ЗІ ШКІРИ КРОЛЯ

У статті представлені математичні розрахунки для встановлення взаємозв'язку між деформацією матеріалу і зусиллям його розтягу при формуванні заготовки взуття на колодці.

Ключові слова: формування деталей взуття, деформація, формостійкість.

Існуючі методи і засоби формостворення не забезпечують отримання формостійкого та комфортного взуття, наприклад, із хутра. Конструкція такого взуття повинна сприяти нормальному розвитку стопи і попереджувати можливі деформації. Для підвищення зазначених показників необхідно забезпечити комплекс фізико-механічних властивостей, які б задовольняли цим вимогам.

Використання встановлених в [1] залежностей потребує експериментального визначення модулів пружності, еластичності та в'язкості пластичного елемента моделі, що не завжди є доцільним в умовах виробництва при використанні сировини з різними вихідними механічними властивостями.

Постановка завдання

З метою отримання більш детальної інформації про технологічний процес формостворення необхідно встановити закономірності залежності деформації матеріалу заготовки від поточного зусилля її розтягання.

Зміна структури і фізико-механічних властивостей шкіри за рахунок використання електроактивованих середовищ зумовила необхідність розробки математичної моделі формостворення для розрахунку технологічних параметрів процесів виготовлення верху взуття.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження було обрано шкіру кроля, виготовлену за технологією, де на усіх етапах технологічного процесу використовували електроактивовану воду, зокрема аноліт.

Визначення коефіцієнту тертя проводили наступним чином. До обох сторін заготовки, що знаходилась на циліндричній поверхні, прикладали певні навантаження (рис. 1). Поступово додаючи навантаження до однієї зі сторін, визначали мінімальну різницю навантажень, при якій рух системи був можливим.

Навантаження, прикладене з одного боку, m_1g , з другого – m_2g . Фіксували момент, коли під дією навантаження m_2g система починала примусовий рух.

Прирівнявши ці навантаження, з врахуванням коефіцієнту тертя (рис. 2), матимемо:

$$m_1g = m_2g \cdot F_{тер} \quad (1)$$

З врахуванням формули Ейлера, матимемо:

$$m_1g = m_2g \cdot e^{-\mu\alpha}, \quad (2)$$

звідки після перетворень визначимо

$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{m_2}{m_1}, \quad (3)$$

де $\alpha = \pi$ - кут, який охоплює заготовка на циліндричній поверхні

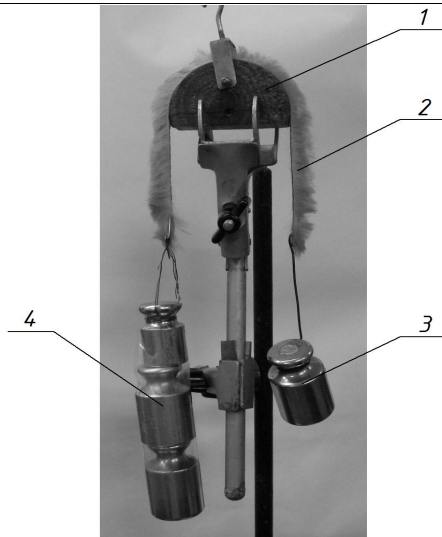


Рис. 1. Експериментальна установка для визначення коефіцієнту тертя
1 – колодка; 2 – заготовка; 3, 4 – навантаження

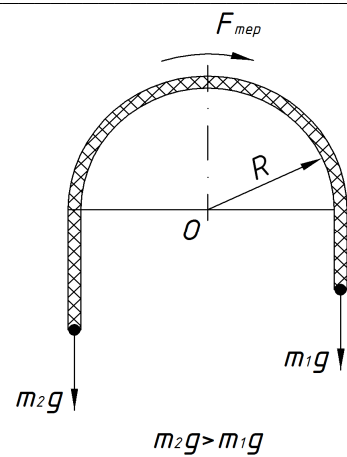


Рис. 2. Схема для визначення коефіцієнту тертя

Результати та їх обговорення

Вирішення задачі формування заготовки у зручному для інженерних розрахунків вигляді можна отримати на основі відомої залежності [2]:

$$\varepsilon = Aq^n, \quad (4)$$

де A – коефіцієнт подовження матеріалу, $\%/H$; n – показник степені, що враховує нелінійний зв'язок між поточним навантаженням $q(H)$ і відносним видовженням $\varepsilon(\%)$.

Отже, приймаємо зв'язок між деформацією і навантаженням згідно з (4). Абсолютна деформація матеріалу a , який знаходиться на циліндричній частині колодки ВА (рис. 3), згідно з [2], буде:

$$a_{BA} = \frac{Aq_0^n R}{100\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right), \quad (5)$$

де q_0 – зусилля зі сторони кліщів, що діє на половину виділеної смужки заготовки, H ; μ – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу заготовки по колодці; R – радіус циліндра, що імітує поверхню колодки, мм.

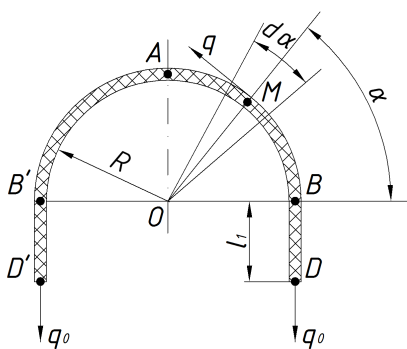


Рис. 3. Початкова деформація матеріалу під дією прикладеного зусилля q_0

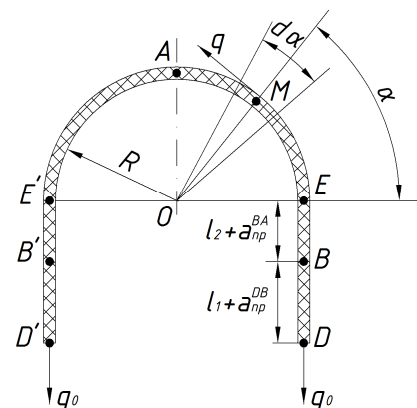


Рис. 4. Деформація матеріалу під дією прикладеного зусилля q_0 через проміжок часу t

Абсолютна деформація матеріалу, що знаходиться у вільному стані (звисає з колодки), буде:

$$a_{DB} = Aq_0^n l_1 \cdot 10^{-2}, \tag{6}$$

де l_1 – довжина ділянки матеріалу DB, що звисає з колодки, мм.

Для шкіри кроля деформації при розтяганні більші, ніж для шкіри ВРХ. Тому необхідно враховувати деформацію матеріалу, який переходить з ділянки ВА на ділянку DB – деформацію матеріалу на ділянці BE (рис. 4), яка рівна:

$$a_{BE} = a_{BA} \cdot Aq_0^n \cdot 10^{-2} = \frac{Aq_0^n R}{100\mu n} (1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}) \cdot Aq_0^n \cdot 10^{-2} = \left(\frac{Aq_0^n}{100}\right)^2 \frac{R}{\mu n} (1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}) \tag{7}$$

До того ж, матеріал на ділянці BE буде також піддаватись розтяганню під дією прикладеного зусилля. Абсолютна деформація для цієї ділянки буде:

$$a'_{BE} = a_{BA} = \frac{Aq_0^n R}{100\mu n} (1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}) \tag{8}$$

Тоді загальна абсолютна деформація матеріалу DE, що знаходиться у звисаючому з колодки положенні (рис. 4), буде:

$$a_{DE} = a_{DB} + a_{BE} + a_{BA} = \frac{Aq_0^n l_1}{100} + \left(\frac{Aq_0^n}{100}\right)^2 \frac{R}{\mu n} (1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}) + \frac{Aq_0^n}{100} \cdot \frac{R}{\mu n} (1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}) \tag{9}$$

З метою встановлення значень констант A і n було апроксимовано залежність (4) між зусиллям розтягу та деформацією матеріалу при його одновісному розтягу, до вигляду:

$$\lg \varepsilon = \lg A + n \lg q, \tag{10}$$

де ε – відносна миттєва деформація матеріалу, %; q – поточне зусилля розтягування, Н.

В результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії:

$$y = 1,037 + 1,848x \tag{11}$$

З отриманого рівняння регресії (11) визначені параметри кривої розтягання при формуванні заготовки вершу на колодці: $A = 10,89$ і $n = 1,848$.

Графічна залежність, побудована за рівнянням (10), представлена на рис. 5. Підставивши значення констант A та n в рівняння (4) та виразивши його як функцію напружень від деформації $\sigma = f(\varepsilon)$, отримаємо графічну залежність, представлену на рис. 6.

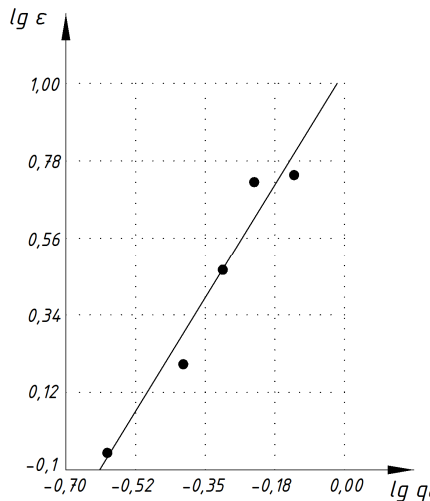


Рис. 5. Залежність між навантаженням q_0 і відносною деформацією зразка ε при його одновісному розтягу

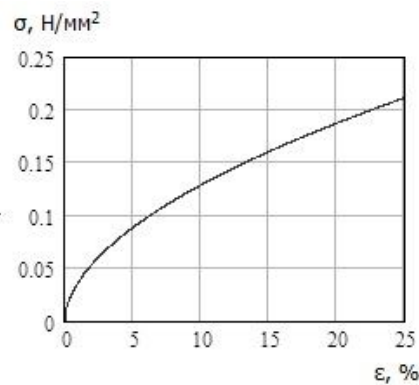


Рис. 6. Залежність напружень σ від відносної деформації матеріалу ε при одновісному розтягу зразка

З метою перевірки отриманої аналітичної залежності (9) була встановлена експериментальна залежність між навантаженням і деформацією вершу взуття при його одновісному розтягу на моделі колодки. В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії:

$$y = 3,966 \cdot x^2 - 0,055 \cdot x + 5,714 \cdot 10^{-3}, \tag{12}$$

де y – поточне зусилля розтягування, Н; x – миттєва абсолютна деформація матеріалу, мм.

Коефіцієнт тертя матеріалу верху взуття по поверхні колодки визначено експериментально відповідно до схеми на рис. 2. Середні значення прикладених навантажень становили: $m_1 = 100 \text{ г}$, $m_2 = 810 \text{ г}$. Середнє значення коефіцієнту тертя в діапазоні навантажень для обраного матеріалу становить $\mu = 0,6654$.

Порівняння аналітичної, розрахованої за рівнянням (9) та експериментальної, розрахованої за рівнянням (12), графічних залежностей представлені на рис. 7.

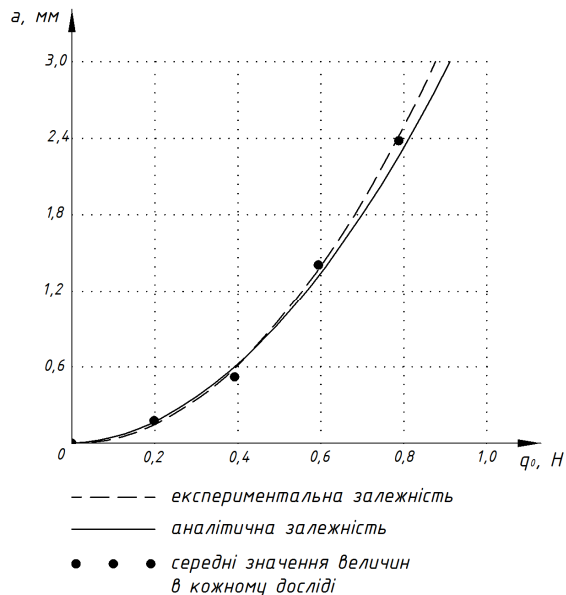


Рис. 7. Взаємозв'язок між навантаженням q_0 і абсолютною деформацією a при формуванні верху взуття на колодці

Як видно з рис. 7, аналітична і експериментальна залежності мають вигляд кривої другого порядку. Різниця між значеннями величини деформації при одних і тих самих значеннях навантаження, розрахованих за аналітичною (9) та експериментальною (12) залежностями, не перевищує 7%.

На рис. 8 зображені графіки залежності деформації верху взуття a від зусилля зтягування q_0 при зтягуванні на колодках з різним радіусом кривизни поверхні R , побудовані за рівнянням (9). На рис. 9 представлені графіки залежності деформації заготовки верху a від радіуса кривизни поверхні колодки R при різних фіксованих значеннях зусилля зтягування q_0 .

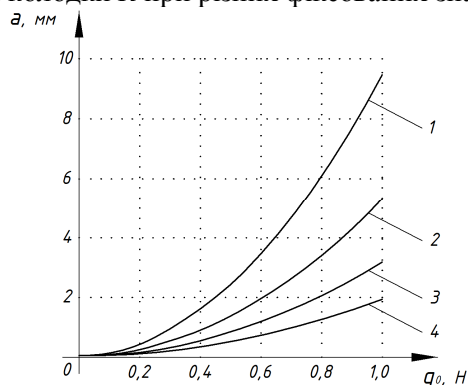


Рис. 8. Залежність деформації a від зусилля зтягування q_0 при різному радіусі кривизни колодки R :

1 – при $R = 100 \text{ мм}$; 2 – при $R = 50 \text{ мм}$;
 3 – при $R = 25 \text{ мм}$; 4 – при $R = 10 \text{ мм}$

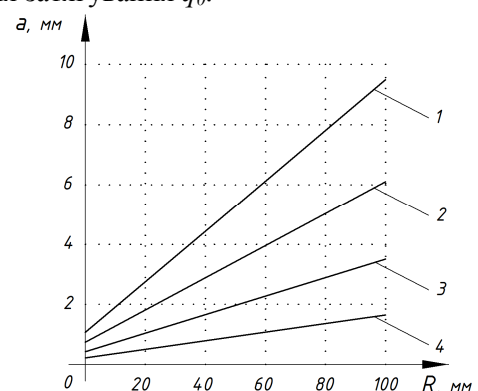


Рис. 9. Залежність деформації a від радіуса кривизни колодки R при різному зусиллі зтягування q_0 :

1 – при $q_0 = 1 \text{ Н}$; 2 – при $q_0 = 0,8 \text{ Н}$;
 3 – при $q_0 = 0,6 \text{ Н}$; 4 – при $q_0 = 0,4 \text{ Н}$

З наведених графіків слідує, що зі збільшенням зусилля затягування q_0 деформація a зростає, причому, чим більше зусилля q_0 , тим більша різниця між величиною деформації при затягуванні на колодках з різними значеннями радіуса кривизни поверхні R . Зі збільшенням радіуса кривизни поверхні колодки R деформація a зростає лінійно. При цьому кут нахилу прямолінійної залежності збільшується зі збільшенням зусилля затягування q_0 .

За допомогою отриманого виразу (9) можна також дослідити вплив коефіцієнта тертя μ і довжини краю заготовки l_1 на деформацію матеріалу a . На рис. 7 представлені графічні залежності деформації a від коефіцієнта тертя μ при різних значеннях початкової довжини краю заготовки l_1 . На рис. 8 зображені графічні залежності деформації a від довжини краю заготовки l_1 при фіксованих значеннях коефіцієнта тертя μ .

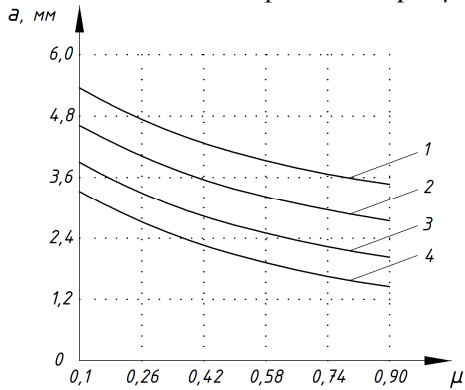


Рис. 10. Залежність деформації a від коефіцієнта тертя μ при різних довжинах краю заготовки l_1 :

- 1 – при $l_1 = 30$ мм ; 2 – при $l_1 = 20$ мм ;
- 3 – при $l_1 = 10$ мм ; 4 – при $l_1 = 2$ мм

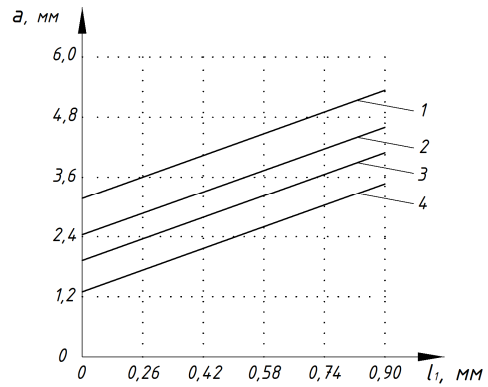


Рис. 11. Залежність деформації a від довжини краю заготовки l_1 при різних значеннях коефіцієнта тертя μ :

- 1 – при $\mu = 0,1$; 2 – при $\mu = 0,3$;
- 3 – при $\mu = 0,5$; 4 – при $\mu = 0,9$

З цих залежностей витікає, що зі збільшенням коефіцієнта тертя μ загальна деформація заготовки верху a зменшується, а зі збільшенням довжини вільного краю l_1 – збільшується.

Якщо відомі параметри кривої деформування матеріалу A та n при формуванні на колодці, зусилля формування можна визначити з квадратичного рівняння, отриманого в результаті перетворення виразу (9):

$$\left(\frac{Aq_0^n}{100}\right)^2 \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right) + \frac{Aq_0^n}{100} \cdot \left(l_1 + \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right)\right) - a_{DE} = 0 \quad (13)$$

Розв'язавши рівняння (13) і відкинувши від'ємний корінь, отримаємо:

$$q_0 = \sqrt[n]{\frac{\sqrt{\left(l_1 + \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right)\right)^2 + 4a_{DE} \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right) - \left(l_1 + \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right)\right)}{2 \frac{A}{100} \frac{R}{\mu n} \left(1 - e^{-\frac{\mu n \pi}{2}}\right)}} \quad (14)$$

Вираз (14) дає можливість розрахувати зусилля затягування при формуванні верху взуття на колодці.

На рис 12, 13 наведені графічні залежності для визначення зусилля затягування q_0 при різних значеннях необхідної деформації матеріалу верху a та радіуса кривизни поверхні колодки R , розраховані за допомогою виразу (14).

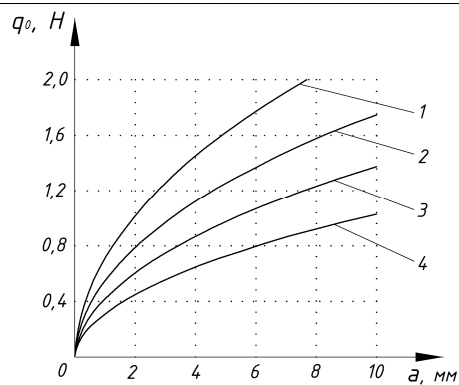


Рис. 12. Визначення прикладеного зусилля q_0 в залежності від заданої деформації a при різному радіусі кривизни колодки R :
1 – при $R=10$ мм; 2 – при $R=25$ мм;
3 – при $R=50$ мм; 4 – при $R=100$ мм

Як видно з рис. 12 та рис. 13, зусилля зтягування q_0 збільшується при зростанні величини деформації матеріалу a , причому для зтяжки матеріалу на колодці з якнайменшим радіусом кривизни поверхні R необхідно прикласти якнайбільше зусилля q_0 .

Висновки

Встановлена залежність визначає зв'язок між деформацією матеріалу і зусиллям розтягу при формуванні на колодці. Використовуючи цю залежність, можна визначити такі технологічні параметри процесу зтяжки, як хід зтяжних губок лещат і зусилля, яке прикладається до лещат, з урахуванням деформаційних властивостей матеріалу вершу, радіуса кривизни колодки, коефіцієнта тертя матеріалу по поверхні колодки.

Таким чином, знаючи виявлені закономірності, можна керувати технологічним процесом зтяжки заготовки на взуттєвій колодці з метою забезпечення необхідних і достатніх технологічних параметрів формостворення виробів.

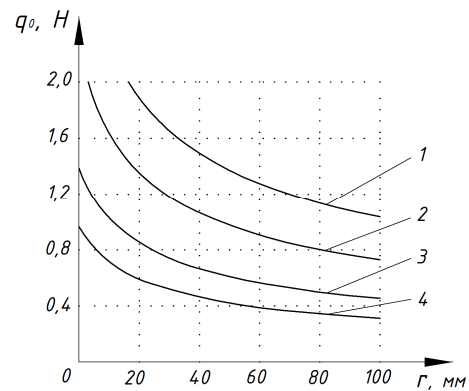


Рис. 13. Визначення прикладеного зусилля q_0 в залежності від заданого радіуса кривизни колодки R при різній деформації a :
1 – при $a=10$ мм; 2 – при $a=5$ мм;
3 – при $a=2$ мм; 4 – при $a=1$ мм

1. Савченко Г. В., Злотенко Б. М., Матвієнко О. А. Математична модель процесу формування верху взуття // Вісник КНУТД, 2010, № 5 (т. 1). – с. 151-157.
2. Данилов Е. Н., Гарбарук В. Н. Растяжение заготовки на обувной колодке // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности, 1972, № 5. – с.86-89.