

середовище”//Проблеми корозії та корозійного захисту матеріалів.– 2000. №1.– С. 222–225.

3. Горопацький В.Г., Дмитрах І.М., Стащук М.Г., Коваленко Р.В. Аналітичне визначення впливу пружних деформацій на електродні потенціали біля плоских поверхонь металевих тіл//Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій.– 2001.– №3.– С.61-76.

4. Жовтанецький М.І., Стащук М.Г., Паракуда В.В., Горопацький В.Г., Стащук А.М. Електродний потенціал вздовж криволінійної межі контакту електроліту з напружено-деформованим металом//Журнал фізичних досліджень.– 2001.– Т.5, №2.– С. 139–144.

5. Стащук М.Г., Малик О.М. Розподіл електричного потенціалу в тілі з еліптичним отвором при механічному навантаженні//Машинознавство.– 2006.– №4 (106).– С. 15-19.

6. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь, 1993.– 544 с.

7. Бурак Я.Й., Галапац Б.П., Гнідець Б.М. Фізико-механічні процеси в електропровідних тілах.– Київ: Наук. думка, 1978.– 232 с.

8. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. – М.: Химия, 1976.– 488 с.

9. Иоссель Ю.Я., Кленов Г.Э. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов. Справ. изд.– М.: Металлургия, 1984. – 272 с.

10. Матвеев А. Н. Электродинамика.– М.: Высш. школа, 1981.– 383 с.

11. Горопацький В.Г., Стащук М.Г. Зміна електродного потенціалу вздовж поверхні взаємодії деформованого металевого тіла з електролітом//Фіз.-хім. механіка матеріалів.– 2005.– №3.– С.41–50.

12. Малик О.М. Оцінювання роботоздатності та довговічності елементів трубопроводів, підданих дії статичних навантажень та корозійних середовищ. Автореф. дис...канд. техн. наук: 01.02.04 / Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.– Львів, 2007.– 21 с.

13. Стащук М.Г., Горопацький В.Г., Малик О.М. Моделювання заповненої середовищем тріщиноподібної порожнини витягнутим еліпсом //Фіз.-хім. механіка матеріалів.– 2006.– №6.– С.81–85.

УДК 685.34.02

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБТІКАННЯ МАТЕРІАЛОМ КОЛОДКИ ПРИ ШНУРОВІЙ ЗАТЯЖЦІ ЗАГОТОВКИ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

Р.В. РОСУЛ

Мукачівський технологічний інсти тут

У статті розглядається спосіб прецизійного дослідження факторів, що впливають на якість формування деталей верху взуття при шнуровій затяжці верху. Пропонується новий спосіб для розрахунку динаміки несталих течій за допомогою методу маркерів і комірок, які будуються як кінцеві різності на сітці фіксованих комірок.

В окремих галузях промисловості при розрахунку впливу технологічного зусилля на матеріал під дією інструменту, наприклад, деревини, гарячого металу,

широко застосовують загальні рівняння механіки суцільного середовища [1]. Враховуючи, що шкіра по своїй волокнистій структурі подібна до деревини і може розглядатись як суцільне середовище, то висунемо гіпотезу, що задачу розрахунку впливу технологічного зусилля на матеріал під дією інструменту також можна вирішити шляхом розв'язку рівнянь механіки суцільного середовища.

З проведеного патентного пошуку і огляду технічної літератури [2, 3, 4,] встановлено, що:

- а) натуральні шкіри не підкоряються закону Гука;
- б) аналітично визначити напруження при формуванні не можливо;
- в) в попередніх дослідженнях процесу формування не було спроб визначення напруження ні аналітично, ні експериментально;
- г) особливо важливо знати зону дії напруження розтягу.

Об'єкти та методи дослідження

Процес шнурової затяжки деталей верху взуття є окремим випадком операції формування. На даний час існують загальні принципи теорії формування при затягуванні заготовки шнуром і зовсім не представлено моделювання процесу обтікання матеріалом колодки. У такому разі є сенс розглянути способи і методи по дослідженню процесу формування верху взуття гнучким силовим елементом.

Зокрема, закономірності, що характеризують процес формування м'яких матеріалів, ще мало досліджені. Відомо, що такі характеристики як технологічне зусилля та відносне видовження визначають якість формування і комфортність взуття. В зв'язку з цим виникає необхідність у визначенні залежності параметрів обладнання від характеристик елементів шнурової затяжки.

Постановка задачі

При формуванні верху взуття методом шнурової затяжки дуже важливим є визначення швидкості будь якої частинки середовища, що знаходиться в зоні деформації матеріалу, та розв'язок рівняння зв'язку між компонентами тензорів напружень і швидкостей деформацій, який дає значення напруження, що виникає в матеріалі при його розтягуванні гнучким силовим елементом.

Результати та їх обговорення

Поставлена задача досягається тим, що враховуючи, що шкіра по своїй волокнистій структурі подібна до деревини і може розглядатись як суцільне середовище, то висунемо гіпотезу, що дану задачу також можна вирішити шляхом

розв'язку рівнянь механіки суцільного середовища, а саме рівнянь руху та нерозривності [5]

$$\rho \cdot \frac{dv_x}{dt} = \rho \cdot X + \left(\frac{\partial \delta_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \quad (1.1)$$

$$\rho \cdot \frac{dv_y}{dt} = \rho \cdot Y + \left(\frac{\partial \delta_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) = 0. \quad (1.2)$$

де ρ – густина матеріалу, кг/м^3 ;

$\rho \cdot \frac{dv_x}{dt}, \rho \cdot \frac{dv_y}{dt}$ - інерційні сили, що виникають при нерівномірному русі

окремих частинок суцільного середовища, як наслідок нерівномірного руху інструменту, Н;

X, Y – масові сили, Н;

$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}, \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}, \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}, \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y}$, - відповідно нормальні та дотичні складові тензору

напружень, Па;

$\frac{\partial v_x}{\partial x}, \frac{\partial v_y}{\partial y}$ – швидкості руху частинок суцільного середовища, м/с.

Рівняння (1.1), (1.2) є основними для визначення поля швидкостей та напружень. Додамо до них граничні умови, приймаючи схему навантаження простою в якості вихідного посилання:

- густина матеріалу в процесі зтягування не змінюється;
- швидкість зтягування не змінюється і є сталою величиною;
- масовими силами нехтуємо, внаслідок того, що їх величини мають малі значення [7];
- деформація протікає при постійному об'єму.

Задача вирішується з урахуванням реального переміщення частинок матеріалу під дією навантаження. При цьому вважається, що зовнішні сили викликають однозначну деформацію волокон шкіри.

Льюшином А.А. [6], Алексєвим Ю.Н. [7] було встановлено, що при великих пластичних деформаціях у випадку простого навантаження направляючий тензор напружень співпадає з направляючим тензором швидкостей деформацій і має місце коефіцієнт жорсткості:

$$\mu_i = \frac{\sigma_i}{3 \cdot \varepsilon_i} \quad (1.3)$$

Виходячи з (1.3) і вважаючи, що має місце плоский напружений стан, рівняння зв'язку між компонентами тензорів напружень і швидкостей деформацій можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= \sigma + 2 \cdot \mu_i \cdot \varepsilon_{xx} \\ \sigma_{yy} &= \sigma + 2 \cdot \mu_i \cdot \varepsilon_{yy} \\ \tau_{xy} &= \mu_i \cdot \varepsilon_{xy} \end{aligned} \quad (1.4)$$

де швидкості деформацій

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v_y}{\partial y}, \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \quad (1.5)$$

σ – середнє напруження.

Використовуючи рівняння (1.3-1.5) для вивчення деформування шкіри і перетворюючи рівняння руху, отримаємо:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial x} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + 2 \cdot \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \frac{dv_x}{dx} + \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \quad (1.6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) + 2 \cdot \frac{\partial \mu_i}{\partial y} \cdot \frac{dv_y}{dy} + \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)$$

Згідно припущення $\dot{v}_0 = \text{const}$. Тоді (1.6) прийме вигляд:

$$\rho \left(v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial x} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + 2 \cdot \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \frac{dv_x}{dx} + \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \quad (1.7)$$

$$\rho \left(v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + 2 \cdot \frac{\partial \mu_i}{\partial y} \cdot \frac{dv_y}{dy} + \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)$$

Враховуючи низьку теплопровідність шкіри [7] рівняння (1.7) можна записати наступним чином:

$$\rho \left(v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) \quad (1.8)$$

$$\rho \left(v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \mu_i \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right)$$

Як видно, визначення σ може бути вирішено, якщо відоме поле швидкостей переміщення частинок матеріалу, що деформується.

Також отримано вираз для потенціалу швидкостей і функції течії :

$$\varphi = v_{зам} \cdot \left(x + \frac{m \cdot (2 \cdot m - 1) \cdot b^2 \cdot x}{x^2 + y^2} \right) \quad (1.9)$$

$$w = v_{зам} \cdot \left(y - \frac{m \cdot (2 \cdot m - 1) \cdot b^2 \cdot x}{x^2 + y^2} \right) \quad (1.10)$$

де $m = \frac{\pi}{2 \cdot (\pi - a)}$, а-товщина фрикційної діафрагми, b-ширина

затяжної кромки.

Швидкість через потенціал швидкостей і функцію току виражається наступним чином [8]:

$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (1.11)$$

Продиференціювавши рівняння (1.9), (1.10) відповідно (1.11) і враховуючи зворотність руху, тобто вважаючи колодку нерухомою, а матеріал таким, що рухається зі швидкістю $v_{мат}$, отримаємо вираз для поля швидкостей частинок заготовки, що деформується :

$$v_x = v_{мат} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot (x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2} \right), \quad (1.12)$$

$$v_y = -v_{зам} \cdot \frac{2 \cdot n \cdot x \cdot y}{(x^2 + y^2)^2}.$$

$$\text{де } n = m \cdot (2 \cdot m - 1) \cdot b^2$$

Таким чином, визначивши швидкість будь якої частинки середовища, що знаходиться в зоні деформації матеріалу, та розв'язавши рівняння (1.8), отримаємо значення напруження, що виникає в матеріалі при його розтягуванні гнучким силовим елементом.

Для розрахунку динаміки несталих течій пропонується новий спосіб за допомогою методу маркерів та комірок, які будуються як кінцеві різності на сітці фіксованих комірок.

Метод маркерів і комірок є чисельним підходом для розрахунку динаміки несталих течій в'язкої нестисливої рідини в порожнині литтєвої прес-форми [9], для визначення плину металу при його об'ємному деформуванні, а також для вирішення ряду інших технічних задач. У ньому використовується кінцево-різницева схема для рішення рівнянь, що описують той чи інший процес.

Метод комірок є різновидом сіткових методів. Методам кінцевих різностей присвячена велика кількість наукової літератури, у яких докладно розглянуті питання теорії та побудови різницевої схем, методи рішення систем алгебраїчних рівнянь і т.п.

У методі маркерів і комірок всі диференціальні рівняння та граничні умови записуються в кінцевих різностях на сітці фіксованих комірок, що покриває локально переріз матеріалу, в області формування матеріалу. Час також розбивається на кінцеве число інтервалів.

Як зазначалось раніше, локально переріз матеріалу в області формування матеріалу розбивається на деяке число часових кроків. Обчислення на кожному кроці здійснюються за наступною схемою:

а) на початку часового етапу використовуються всі необхідні дані про комірки та координати маркерів або з початкових умов, або з результату обчислень попереднього етапу;

б) розв'язуються основні рівняння з заданими граничними умовами для області, що містить маркери, тобто визначаються видовження і напруження у кожній розрахунковій комірці;

в) здійснюється черговий крок за часом і всі обчислення повторюються знову вже для нової області – і так далі.

Диференціальні рівняння руху і граничні умови записуються на сітці прямокутних комірок розміром $h \times h$, що покриває локально переріз матеріалу. Вигляд сітки встановлюється в залежності від геометричних параметрів заготовки та колодки. Типова комірка представлена на рис.1.

Для кожного вузла сітки, що знаходиться в області занурення, визначаються три незалежні змінні ϵ -зміщення (деформація), \dot{u} -швидкість руху інструменту, σ -напруження.

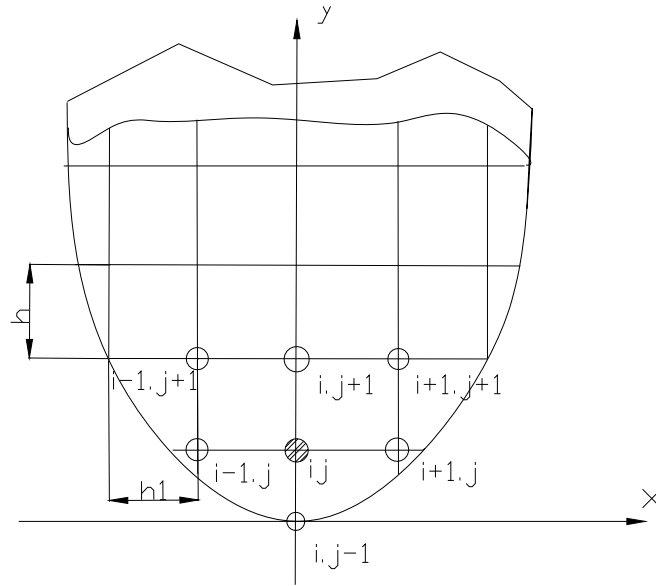


Рис. 1. Схема сітки фіксованих комірок перерізу ділянки заготовки в області обтікання матеріалом колодки.

Використовуючи праці науковців, а також прийняті раніше позначення $\epsilon = \dot{u}_x$, і $\dot{u} = \dot{u}_y$, запишемо диференціальні рівняння руху (1.8), що описують процес обтікання матеріалом колодки, у кінцево-різницевої формі, заміняючи диференціальні оператори їхніми різницевиими аналогами:

$$\begin{aligned} & \rho \cdot \left(U_{ij} \cdot \frac{U_{ij} - U_{i-1,j}}{h} + v_{ij} \cdot \frac{U_{ij} - U_{i-1,j}}{h_1} \right) = \\ & + \frac{\sigma_{ij} - \sigma_{i-1,j}}{h} + \mu \left(\frac{U_{i+1,j} - 2 \cdot U_{ij} + U_{i-1,j}}{h^2} + \frac{U_{ij+1} - 2 \cdot U_{ij} + U_{ij-1}}{h_1^2} \right) \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned} & \rho \cdot \left(U_{ij} \cdot \frac{U_{ij} - U_{i-1,j}}{h} + v_{ij} \cdot \frac{U_{ij} - U_{i-1,j}}{h_1} \right) = \\ & + \frac{\sigma_{ij} - \sigma_{i-1,j}}{h} + \mu \left(\frac{U_{i+1,j} - 2 \cdot v_{ij} + v_{i-1,j}}{h^2} + \frac{v_{ij+1} - 2 \cdot v_{ij} + v_{ij-1}}{h_1^2} \right) \end{aligned}$$

Висновки

Таким чином, моделювання процесу обтікання матеріалом колодки дає можливість краще і більш точно дослідити параметри, що впливають на якість шнурової з'язки деталей верху взуття. Запропоновано новий спосіб для розрахунку динаміки несталих течій за допомогою методу маркерів і комірок, які будуються як кінцеві різності на сітці фіксованих комірок. Вирішено задачу розрахунку впливу технологічного зусилля на матеріал під дією інструменту шляхом розв'язку рівнянь механіки суцільного середовища.

Перспективи подальших досліджень.

Для подальших досліджень, потрібно врахувати положення гнучкого силового елемента відносно сліду колодки при з'язці заготовки верху взуття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кононенко В.Г., Зайцев К.И. Импульсная обработка металов давлением. - Х.: Харьковский авиационный институт, 1970. Вып. 2. - с.15-39.
2. Чернов Н.В. Технология кожи, 4.1. - М: Гизлегпром, 1937. - 237 с.
3. Зурабян К.М., Краснов Б.Я., Пустыльник Я.И. Материаловедение в прозводстве изделий легкой промышленности : Учебник для вузов - М.; Наука 2003. - 384с.
4. Лебедев В.С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания: Учеб. для вузов. - 2-е изд. - М. ; Легпромбытиздат., 1991. - 336с.
5. Кононенко В.Г., Аристов Г.Ф. Исследование процесса импульсной безотходной резки древесины. - Х.: Харьковский авиационный институт, 1970. - Вып. 2. - с. 97-109.
6. Ильюшин А.А. Пластичность. - М.: АН СССР, 1963. - 253с
7. Алексеев Ю.Н. Вопросы пластического течения металлов. - Х.: ХГУ, 1958. - 182с..
8. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. - М., МГУ, 1971. - 247с.
9. Синюк О.М. Вдосконалення пресс - форм для лиття деталей взуття: Дис. канд. техн. наук : 05.05.10/ КНУТД., 2002-157с.