

СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ
ШТАМПУВАННІ ОБКОЧУВАННЯМ¹Вінницький національний технічний університет,²Вінницький національний аграрний університет**Анотація**

Запропоновано методику побудови моделі траєкторії деформацій для можливості здійснення моделювання деформованості матеріалів заготовок під час технологічних операцій штампування обкочуванням. За базисну взято сплайн-подібну дволанкову функцію, що утворена з функції синус та похідною до неї в деякій точці. В результаті повороту базисної функції на деякий кут відносно початку координат, зсуву вздовж осі показника напруженого стану та масштабування по накопиченій деформації отримано та проаналізовано параметрично задану функцію трьох аргументів.

Ключові слова: траєкторія деформацій, сплайн-подібна функція, показник напруженого стану, накопичена деформація, штампування обкочуванням.

Abstract

A method of constructing a deformation trajectory model is proposed for the possibility of modeling the deformability of workpiece materials during the technological operations of stamping by rolling. A spline-like two-link function formed from the sine function and its derivative at some point is taken as the basic one. As a result of rotation of the basic function by some angle relative to the origin of coordinates, shift along the axis of the stress triaxiality and scaling according to the equivalent plastic strain, a parametrically specified function of three arguments was obtained and analyzed.

Keywords: deformation trajectory, spline-like function, stress triaxiality, equivalent plastic strain, rolling stamping.

Вступ

Під час пластичного деформування заготовок методом штампування обкочуванням валками різної форми технологічні можливості отримання широкого спектру виробів обмежуються утворенням зон руйнування заготовки [1-4]. Для аналізу процесу тріщиноутворення та його запобігання традиційно використовується теорія деформованості, що передбачає визначення траєкторії деформацій макрочастинок матеріалу небезпечних ділянок [1, 5]. В [1, 5-9] розвивається підхід до моделювання деформованості на основі конструювання траєкторії деформацій матеріалу в небезпечних ділянках заготовки.

Метою роботи є конструювання моделі траєкторії деформацій на основі базисної сплайн-подібної дволанкової функції, графік якої повернутий на деякий кут та зсунутий вздовж осі показника напруженого стану.

Результати дослідження

За базисні елементи траєкторії деформацій візьмемо деяку функцію

$$y = f(x) \quad (1)$$

та її продовження у вигляді дотичної прямої до цієї функції в точці $(x_0, y_0 = f(x_0))$

$$y = f'(x_0) \cdot (x - x_0) + y_0 \quad (2)$$

На основі цих базисних елементів отримаємо сплан-подібну функцію

$$y = \begin{cases} f(x), & a \leq x \leq x_0 \\ f'(x_0) \cdot (x - x_0) + y_0, & x > x_0 \end{cases} \quad (3)$$

Функцію (3) називаємо сплан-подібною, оскільки в точці склейки x_0 виконуються умови неперервності функції та її першої похідної.

За умови

$$f(x) = \sin(x), \quad (4)$$

на основі (3) матимемо

$$y = \begin{cases} \sin(x), & 0 \leq x < x_0 \\ \cos(x_0) \cdot (x - x_0) + \sin(x_0), & x \geq x_0 \end{cases}, \quad x_0 > 0 \quad (5)$$

Для отримання апроксимацій, що здатні відворювати траєкторії деформування, отримані методом числового моделювання, необхідно графік цієї функції повернути на кут α , зсунути на -1 вздовж горизонтальної осі (показник напруженого стану η) та масштабувати за величиною накопиченої деформації введенням коефіцієнта b .

В результаті траєкторія деформування апроксимується параметрично заданою функцією трьох аргументів.

$$\begin{cases} \eta = \begin{cases} t \cdot \cos(\alpha) - \sin(t) \cdot \sin(\alpha) - 1, & 0 \leq t \leq x_0 \\ t \cdot \cos(\alpha) - [\sin(x_0) + \cos(x_0) \cdot (t - x_0)] \cdot \sin(\alpha) - 1, & \eta > x_0 \end{cases} \\ \varepsilon_i = b \cdot \begin{cases} t \cdot \sin(\alpha) + \sin(t) \cdot \cos(\alpha), & 0 \leq t \leq x_0 \\ t \cdot \sin(\alpha) + [\sin(x_0) + \cos(x_0) \cdot (t - x_0)] \cdot \cos(\alpha), & t > x_0 \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

де ε_i – накопичена деформація; η - показник напруженого стану.

Результати моделювання траєкторій деформування за отриманим співвідношенням показано на рис. 1 а, б.

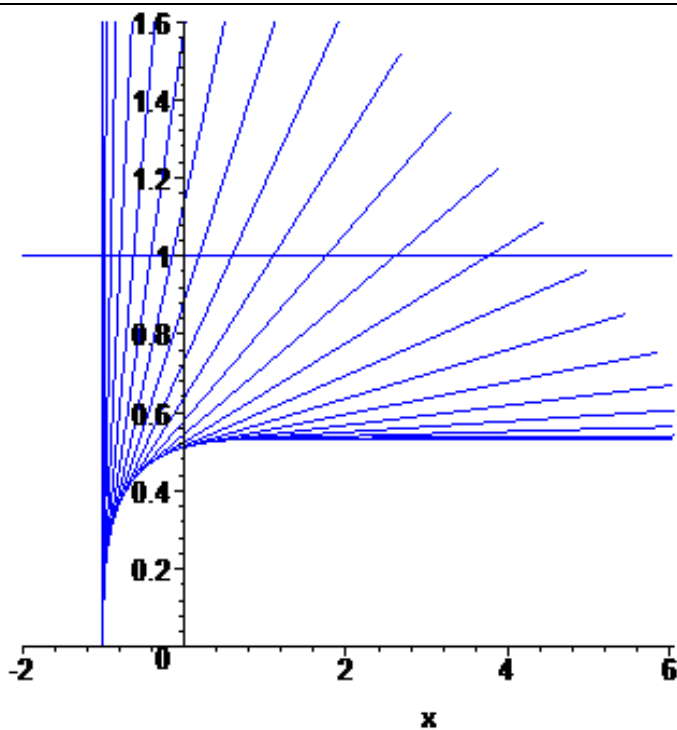
Висновки

Запропонована методика побудови моделі траєкторії деформацій та отримана модель показали свою працездатність в плані відображення особливостей перебігу зміни напружено-деформованого стану матеріалу заготовки під час технологічних операцій штампування обкочуванням.

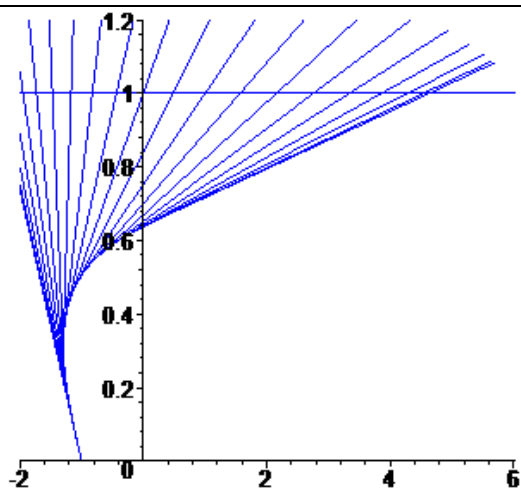
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография / В. А. Матвійчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с
2. Красвський В. О., Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії. Краматорськ-Слов'янськ. 2003. С. 286-291
3. Матвійчук В.А., Михалевич В.М., Колісник М.А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням. Вібрації в техніці та технологіях. 2022. №1(104). С. 81-91.
4. Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А. Дослідження напружено-деформовного стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочування. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3(102). С. 77-84.
5. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень. Вінниця: "УНІВЕРСУМ - Вінниця". 1998. С. 195.
6. Михалевич В. М., Матвійчук В.А., Добранюк Ю. В., Трач Є. А. Прогнозування граничного стану бічної поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні// Обробка матеріалів давлением, №1(30) 2012, с. 24-30
7. Михалевич В. М. Узагальнення експериментально-аналітичної методики аналізу процесу осадження/ В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, Є. А. Трач // Обробка металлов давлением: сборник научных трудов. — Краматорск : ДГМА. — 2014. — №1(38). — С. 41—47.

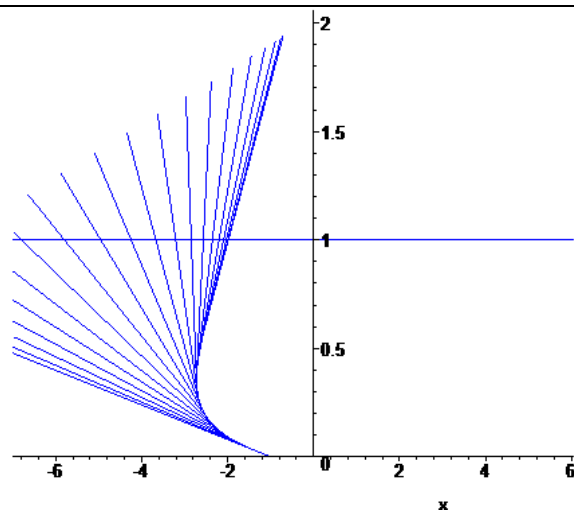
8. Матвійчук, В.А., Михалевич, В. М. (2016) «Розвиток процесів локального деформування», За ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Кочана О.Я. Теорія та практика обробки матеріалів тиском, Моторсiч, Запорiжжя, с. 339-363.
9. Михалевич В. М. Оцiнка деформовностi матерiалу заготовок при вальцюваннi / В. М. Михалевич, В. А. Матвiйчук, I. А. Бубновська // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вiнниця: ВНАУ – 2021. – № 2(113). – С. 56-64.



$$b=0.24; \alpha = \frac{\pi}{4};$$



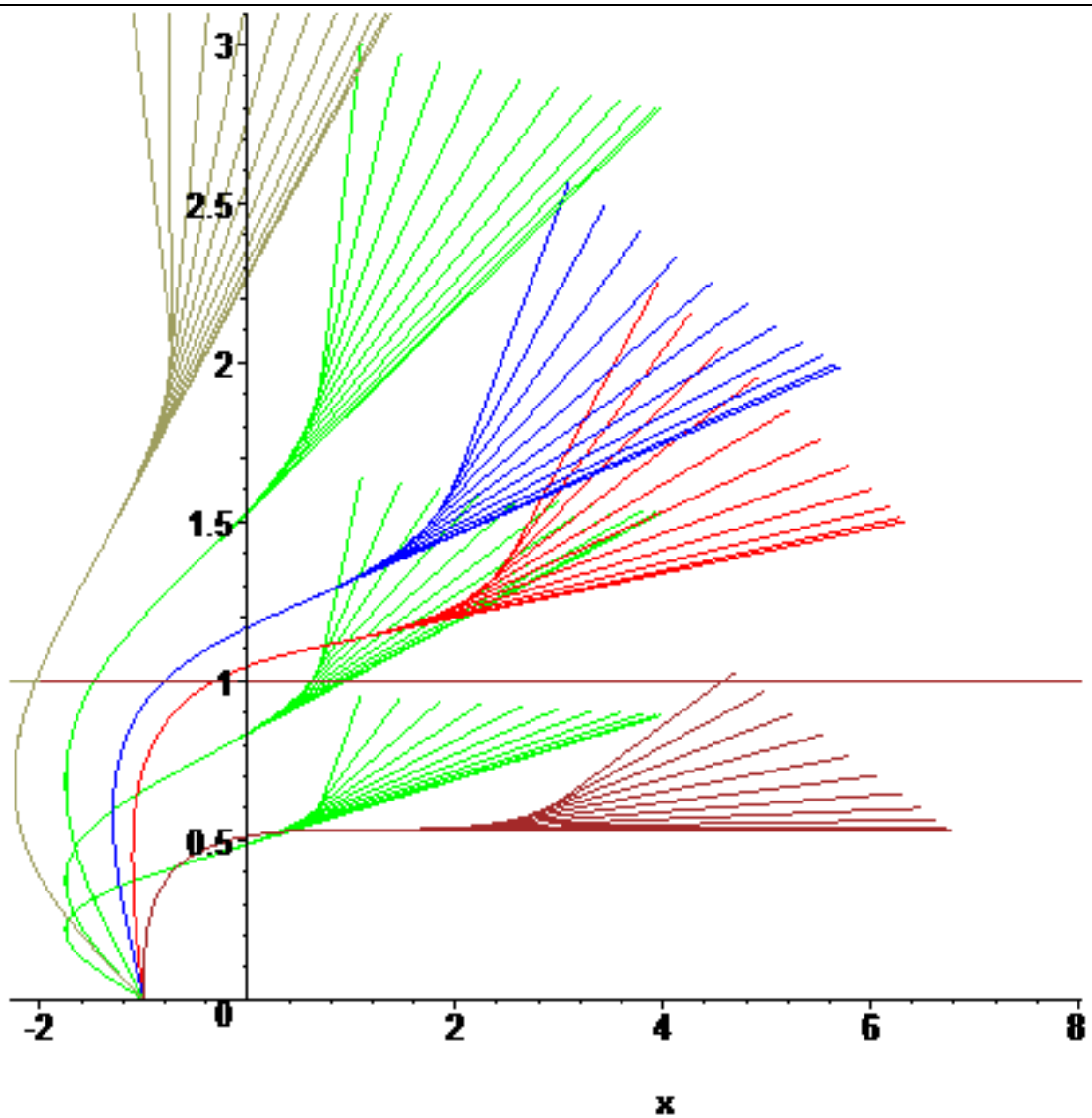
$$b=0.24; \alpha = \frac{11\pi}{20};$$



$$b=0.24; \alpha = \frac{9\pi}{20};$$

a)

$$x_0 = 0, \frac{\pi}{20}, \frac{\pi}{10}, \frac{3\pi}{20}, \frac{\pi}{5}, \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{10}, \frac{7\pi}{20}, \frac{2\pi}{5}, \frac{9\pi}{20}, \frac{\pi}{2}, \frac{11\pi}{20}, \frac{3\pi}{5}, \frac{13\pi}{20}, \frac{7\pi}{10}, \frac{3\pi}{4}, \frac{4\pi}{5}, \frac{17\pi}{20}, \frac{9\pi}{10}, \frac{19\pi}{20}, \pi$$



$$x_0 = \pi, \frac{21\pi}{20}, \frac{11\pi}{10}, \frac{23\pi}{20}, \frac{6\pi}{5}, \frac{5\pi}{4}, \frac{13\pi}{10}, \frac{27\pi}{20}, \frac{7\pi}{5}, \frac{29\pi}{20}, \frac{3\pi}{2};$$

khaki – $b=0.44$; $\alpha = \frac{11}{20}\pi$; **green** – $b=0.44, 0.24, 0.14$; $\alpha = \frac{9}{20}\pi$; **blue** – $b=0.44$; $\alpha = \frac{7}{20}\pi$;

red – $b=0.44$; $\alpha = \frac{3}{10}\pi$.

Рис. 1. Траєкторії деформування макрочастинок матеріалу заготовки під час операцій штампування обкочуванням за різними технологічними схемами:

горизонтальна вісь – показник напруженого стану; вертикальна вісь - накопичена деформація;

green – $\pi, \frac{21\pi}{20}, \frac{11\pi}{10}, \frac{23\pi}{20}, \frac{6\pi}{5}, \frac{5\pi}{4}, \frac{13\pi}{10}, \frac{27\pi}{20}, \frac{7\pi}{5}, \frac{29\pi}{20}, \frac{3\pi}{2}$

Володимир Маркусович Михалевич — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vmykhal@gmail.com

Віктор Андрійович Матвійчук — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: yamatv50@gmail.com;

Микола Анатолійович Колісник — аспірант, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: kolisnik30@gmail.com

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vmykhal@gmail.com

Matviichuk Viktor A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, yamatv50@gmail.com

Kolisnyk Mykola A. — Postgraduate Student, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: kolisnik30@gmail.com