

ОЦІНКА ДЕФОРМІВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА ТРУБНИХ ЗАГОТОВКАХ КОНІЧНИМ ВАЛКОМ

Вінницький національний технічний університет¹, Вінницький національний аграрний
університет²

Анотація

Розглянуто математичну модель оцінки деформівності матеріалу під час пластичного деформування. Модель складається з трьох компонентів, що враховують властивості матеріалу, зміни напружено-деформованого стану та закон підсумовування пошкоджень. Параметри моделі визначено методом найменших квадратів шляхом розв'язанням числовим методом мінімізації нелінійної функції двох аргументів. Показано, що певні зміни технологічних параметрів процесу штампування обкоченням для окремих матеріалів можуть помітно знизити деформівність заготовки без руйнування.

Ключові слова: штампування обкочуванням, конічний валок, висаджування фланців, шлях деформування, модель деформівності, траєкторія накопичення пошкоджень.

Оцінка деформівності традиційно здійснюється за допомогою певної математичної моделі, що складається з трьох основних компонентів.

Перший компонент відображує властивості матеріалу заготовки за умови так званого стаціонарного деформування [1÷5]. Під час стаціонарного деформування залишаються незмінними всі показники, від яких залежить гранична деформація до руйнування матеріалу.

Другий компонент відображує особливості зміни напружено-деформованого стану (НДС) матеріалу заготовок під час технологічної операції обробки тиском [6÷10].

Третій компонент відображує обраний закон підсумовування пошкоджень [11÷14].

Всі три компоненти є окремими математичними моделями, поєднання яких надає можливість отримати математичну модель оцінки деформівності матеріалу при пластичному деформуванні.

Модель шляху деформування будували за допомогою створення диференціального рівняння, що задовольняє низці вимог

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{3 \cdot (1 + \theta)}{4} \cdot \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{1 + \left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m}\right)^2} \right), m > 0, 0 \leq \theta \leq 1, \quad (1)$$

де $\varepsilon_z, \varepsilon_\varphi$ - осьова та колова логарифмічні деформації в області небезпечної ділянки матеріалу заготовки; m, θ - параметри моделі, що відображують особливості параметрів технологічного процесу.

Числові значення параметрів моделі визначалися методом найменших квадратів на основі результатів замірів спотвореної ділянової сітки на окремих етапах деформування. Задачу мінімізації нелінійної функції двох аргументів розв'язували числовим методом за допомогою стандартної функції LSSolve в середовищі СКМ Maple.

З метою наочного зображення процесу накопичення пошкоджень в небезпечній ділянці матеріалу заготовки під час пластичного деформування отримано аналітичний опис відповідних траєкторій

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta(t) = \frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}}, \quad \theta \in [0, 1], t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right], m \in [0, \infty), \\ \psi(t) = \frac{\sqrt{3}}{6 \cdot e_k} \cdot m \cdot \int_0^t \frac{\sqrt{3 \cdot \left(\left(\frac{f^2(\theta, x)}{3} \right)^2 + 1 \right)}}{\cos^2(x)} \times \\ \times \left[\frac{(e_k^2 - e_c \cdot e_p) \cdot \frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}} + e_k^2 + e_c \cdot e_p}{e_k \cdot e_p} \right]^{\frac{3 + \sqrt{3} \cdot f(\theta, t)}{\sqrt{9 + f^2(\theta, t)}}} dx \\ f(\theta, x) = \sqrt{3} \cdot \left(1 - \frac{(1 + \theta) \cdot (1 + 3 \cos^2(t))}{2} \right), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$(3)$$

де η - показник напруженого стану; ψ - ресурс пластичності; e_c, e_k, e_p - граничні значення деформації матеріалу під час випробувань за умов стиску, зсуву та розтягу відповідно.

Графік залежності накопиченого ресурсу пластичності в залежності від зміни показника напруженого стану є наочним тільки за умови розміщення разом з кривою відповідного шляху деформування в координатах «показник напруженого стану – накопичена деформація».

В результаті моделювання деформівності показано, що особливості технологічних параметрів процесу штампування обкоченням, зокрема, зміщення вершини конічного валка, для окремих матеріалів може помітно знизити здатність заготовки сприймати пластичну деформацію без руйнування зони матеріалу бічної поверхні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Volodymyr Mykhalevych, Yurii Dobraniuk, Victor Matviichuk, Volodymyr Kraievskiy, Oksana Tiutiunyk, Saule Smailova, Ainur Kozbakova. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2023. № 1. P. 54-70. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.
2. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. — 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.
3. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу при висаджуванні елементів заготовок методом штампування обкочуванням / В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2022. № 2 (117). С. 104-114.
4. Михалевич В. М. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, О. В. Краєвський // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2018. – № 2(8). – С. 56-64.
5. V. Mykhalevych, V. Kraievskiy, O. Mykhalevych, O. Hrushko, A. Kotyra, P. Drożdziel, O. Mamyrbayev, S. Orazalieva. Modeling of the exhaustion and regeneration of the resource regularities of objects with different natures // «Mechatronics» Vol. II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 2021. p. 27-38. - ISBN 9781032105857. doi: 10.1201/9781003225447-3.
6. Matviichuk, V., Bubnovska, I., Mykhalevych, V., Kovalchuk, M., Wójcik, W., Tuleshov, A., & Imanbek, B. Tensor models of accumulation of damage in material billets during roll forging process in several stages. // «Mechatronics» Vol. II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 2021. p. 111-120. - ISBN 9781032105857. doi: 10.1201/9781003225447-10.
7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // *Strength of Materials*. - Volume 43, Number 6 (2011), P. 591-603, doi:10.1007/s11223-011-9332-7.
8. Краєвський 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.

9. 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.
10. Viktor Matvijchuk., Andrii Shtuts., Mykola Kolisnyk., Ihor Kupchuk., Iryna Derevenko. Investigation of the Tubular and Cylindrical Billets Stamping by Rolling Process with the Use of Computer Simulation. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering. 2022. №1 (66), P. 51–58.
11. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалевич, М. А. Колісник // Вібраційтехнікатехнологіях. – Вінниця: ВНАУ – 2022. – № 1(104). – С. 81-91.
12. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням/ В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // Обробка матеріалів тиском: збірник наукових праць. — Краматорск : ДДМА. — 2022. — №1(51). — С. 87—97. DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)87.
13. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні / В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТАПК. – Вінниця: ВНАУ – 2021. – № 2(113). – С. 22-30.
14. Михалевич В. М. Моделі підсумовування розсіяних пошкоджень в процесах пластичного деформування / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, С. А. Трач // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 43 (1086). – С. 98-103.

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;

Штуць Андрій Анатолійович— асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:shtuts1989@gmail.com

ASSESSMENT OF MATERIAL DEFORMABILITY DURING EXTERNAL FLANGE FORMING ON TUBULAR BLANKS USING A CONICAL ROLL

Abstract

A mathematical model for assessing material deformability during plastic deformation has been considered. The model consists of three components that account for material properties, changes in stress-strain state, and a damage accumulation law. The model parameters were determined using the least squares method by solving a numerical minimization problem of a nonlinear function with two variables. It has been demonstrated that certain changes in the technological parameters of the coining stamping process for specific materials can significantly reduce the deformability of the workpiece without causing failure.

Keywords: rolling stamping, flange upsetting, mathematical model, deformation path, deformation model.

Mykhalevych Volodymyr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair for Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, mykhalevych@vntu.edu.ua

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

Shtuts Andrii A. — Assistant Professor, Department of Electric PowerEngineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail:shtuts1989@gmail.com