

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ПРИ ВИСАДЖУВАННІ ЗОВНІШНІХ ФЛАНЦІВ НА КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВКАХ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Вінницький національний аграрний університет<sup>1</sup>, Вінницький національний технічний  
університет<sup>2</sup>

### Анотація

*Розглянуто результати дослідження напружено-деформованого стану матеріалу кільцевих заготовок при висаджуванні зовнішніх фланців методом штампування обкочуванням. Математична модель шляхів деформування побудована у вигляді базисної сплайн подібної функції «склеєної» з двох різних функцій з подальшим поворотом на деякий кут навколо початку координат та зсуненням вздовж осі показника напруженого стану. На основі задання шляху деформування у параметричному вигляді та з використанням лінійного та нелінійного принципів підсумовування пошкоджень побудовані моделі деформованості матеріалу небезпечної зони заготовки.*

**Ключові слова:** штампування обкочуванням, висаджування фланців, напружено-деформований стан, шлях деформування, модель деформованості.

Розглядаються експериментальні та аналітичні методики, а також результати аналізу напружено-деформованого стану (НДС) матеріалу кільцевих заготовок при висаджуванні зовнішніх фланців методом штампування обкочуванням (МШО). Актуальність дослідження обумовлена необхідністю пошуку шляхів для розширення технологічних можливостей МШО та підвищення якості отримуваних виробів.

Аналіз НДС здійснювався з використанням експериментально-розрахункових методів сіток і вимірювання твердості, а також моделюванням процесу з використанням програмного комплексу DEFORM – 3D, а його результати наведено у працях [1÷7]. За результатами проведених експериментів були схематично побудовані шляхи (траєкторії) деформування часток матеріалу небезпечних зон заготовки в координатах « $\varepsilon_i - \eta$ » (інтенсивність деформацій – показник напруженого стану). На їх основі побудована математична модель цих траєкторій. За базисну було взято однопараметричну функцію, що «склеєна з елементарної функції синус та дотичної до неї в деякій точці».

Базисна функція набула вигляду:

$$\varepsilon_i = \begin{cases} \sin(\eta), & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1), & \eta > \eta_1 \end{cases} \quad (1)$$

Ця функція є сплайн подібною, тобто «склеєна» з двох різних функцій: частин синусоїди та дотичної до неї. В точці «склейки»  $\eta = \eta_1$  виконується не тільки умова неперервності функції, а й її першої похідної.

З метою описання довільного діапазону зміни накопиченої пластичної деформації отримана крива апроксимація шляху деформування за допомогою повороту навколо початку координат та зсунення вздовж осі показника напруженого стану була узагальнена до вигляду:

$$\begin{cases} \eta' = \begin{cases} \eta \cdot \cos(\alpha) - \sin(\eta) \cdot \sin(\alpha) - 1, & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \eta \cdot \cos(\alpha) - [\sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1)] \cdot \sin(\alpha) - 1, & \eta > \eta_1 \end{cases} \\ \varepsilon'_i = b \cdot \begin{cases} \eta \cdot \sin(\alpha) + \sin(\eta) \cdot \cos(\alpha), & 0 \leq \eta \leq \eta_1 \\ \eta \cdot \sin(\alpha) + [\sin(\eta_1) + \cos(\eta_1) \cdot (\eta - \eta_1)] \cdot \cos(\alpha), & \eta > \eta_1 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

де  $b$  - стала, що залежить від параметрів технологічного процесу.

Використовуючи параметричне завдання шляху деформування  $\varepsilon_i - \eta$  нами був вперше описаний загальний вираз моделі лінійного підсумовування пошкоджень матеріалу небезпечної зони заготовки. Для визначення використаного ресурсу пластичності було прийнято модель підсумовування пошкоджень зі степеневою апроксимацією функції пошкоджень, обґрунтованість якої надано у працях [8-14]. Використовуючи розроблену модель підсумовування пошкоджень можна проводити моделювання шляхом зміни значень параметрів моделі для різних матеріалів та технологічних параметрів процесу штампування обкочуванням, визначаючи таким чином величину використаного ресурсу пластичності або граничні до руйнування деформації.

### 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. —ISBN 978-966-379-317-7.
2. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу при висаджуванні елементів заготовок методом штампування обкочуванням / В. М. Михалеви́ч, В. А. Матвійчук, М. А. Колісник // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2022. № 2 (117). С. 104-114.
3. 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.
4. 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.
5. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалеви́ч 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.
6. 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.
7. 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.
8. Михалеви́ч В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалеви́ч. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. — 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.
9. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалеви́ч, М. А. Колісник // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ – 2022. – № 1(104). – С. 81 91.
10. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням/ В. М. Михалеви́ч, 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.
11. Михалеви́ч В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні / В. М. Михалеви́ч, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // ТЕХНІКА, ЕНЕРГЕТИКА, ТРАНСПОРТ АПК. – Вінниця: ВНАУ – 2021. – № 2(113). – С. 22-30.
12. Михалеви́ч В. М. Моделі підсумовування розсіяних пошкоджень в процесах пластичного деформування / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, Є. 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.
13. Михалеви́ч В. М. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк, О. В. Краєвський // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2018. – № 2(8). – С. 56 64.
14. Volodymyr Mykhalevych, Yurii Dobraniuk, Victor Matviichuk, Volodymyr Kraievskiy, Oksana Tiutiunnyk, 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>

**Віктор Андрійович Матвійчук** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: [vamatv50@gmail.com](mailto:vamatv50@gmail.com);

**Володимир Маркусович Михалеви́ч** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [vmikhail@gmail.com](mailto:vmikhail@gmail.com)

**Колісник Микола Анатолійович** — асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [kolisnik30@gmail.com](mailto:kolisnik30@gmail.com)

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE MATERIAL WHEN PRODUCING EXTERNAL FLANGES ON RING BLANKS BY THE METHOD OF FORGING RUN

**Abstract**

*The results of the study of the stress-strain state of the material of the ring blanks during the upsetting of the outer flanges by the method of forging by running are considered. The mathematical model of deformation paths is constructed as a basic spline-like function "glued" from two different functions with subsequent rotation by some angle around the origin and a shift along the axis of the stress state index. Based on the specification of the deformation path in a parametric form and using the linear and nonlinear principles of damage summation, models of material deformation of the dangerous zone of the workpiece are constructed..*

**Keywords:** rolling stamping, flange upsetting, stress-strain state, deformation path, deformation model.

**Matviichuk Viktor A.** — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, [vamatv50@gmail.com](mailto:vamatv50@gmail.com)

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

**Kolisnyk Mykola A.** — Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: [kolisnik30@gmail.com](mailto:kolisnik30@gmail.com)