

ПОБУДОВА ТА СПРОЩЕННЯ МОДЕЛІ ДЕФОРМОВНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК У ПРОЦЕСАХ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ТА ТОРЦЕВОГО СТИСНЕННЯ

Вінницький національний технічний університет¹, Вінницький національний аграрний університет²

Анотація

Досліджено моделі деформовності заготовок при процесах торцевого стиснення, обкочування, прямого та зворотного витискування методом штампування обкочуванням циліндричних заготовок. Особливу увагу приділено громіздким видам моделей, що виникають при застосуванні популярної моделі підсумовування пошкоджень В. Огороднікова у поєднанні з окремими типами траєкторій деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах. Побудовано приклад такої моделі для процесу прямого витискування методом штампування обкочуванням. Показано, що результати комп'ютерного моделювання формозміни трубчастої заготовки при формуванні внутрішнього бурта деталі типу «стакан» методом торцевого обкочування не суперечать прийнятому параметричному опису траєкторій деформування. Виокремлено елементи моделей, що істотно ускладнюють їх структуру та аналіз. Встановлено, що траєкторії деформування мають характерні властивості, що відкривають можливість до суттєвого спрощення складних моделей деформовності. Запропоновано методіку, за якою окрема функціональна залежність у моделі може бути замінена на сталий коефіцієнт без істотної втрати точності, що значно полегшує подальше аналітичне й числове дослідження.

Ключові слова: модель підсумовування пошкоджень, модель деформовності, траєкторія деформування, штампування обкочуванням, торцеве стиснення.

Ефективному впровадженню процесів штампування обкочуванням (ШО) перешкоджає недостатній розвиток розрахункового апарату механіки накопичення пошкоджень. Для моделювання деформовності небезпечних зон матеріалу заготовки необхідно формувати відповідні математичні моделі. У ряді випадків такі моделі є надмірно громіздкими, що ускладнює аналіз закономірностей зміни граничних деформацій на їх основі.

Одним із ключових елементів моделей деформовності є траєкторії деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах заготовки під час пластичного формозмінення [1, 2, 3, 4, 5].

Аналіз цих траєкторій стосовно процесів торцевого стиснення або обкочування, прямого та зворотного витискування ШО заготовок циліндричної форми дозволив виявити характерні особливості, що відкривають можливість суттєвого спрощення надто складних моделей.

В [2] показано, що траєкторію деформування макрочастинок матеріалу в небезпечних зонах циліндричної заготовки під час прямого витискування методом штампування обкочуванням можна подати у вигляді аналітичного співвідношення, заданого параметрично

$$\begin{cases} \eta(t) = \frac{b \cdot (tg(t) - t) + a \cdot \sqrt{1+c} \cdot t}{\sqrt{tg^2(t) + c \cdot t^2}}, & t \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right), \\ \bar{e}_{eq}(t) = m \cdot \int_0^t \sqrt{\frac{1}{\cos^4 x} + 3} \cdot dx \end{cases}, \quad (1)$$

де a, b, c, m - параметри апроксимації.

Отримані результати комп'ютерного моделювання формозміни трубчастої заготовки під час формування внутрішнього бурта деталі типу «стакан» методом штампування торцевим обкочуванням (див. рис.) не суперечать такому представленню.

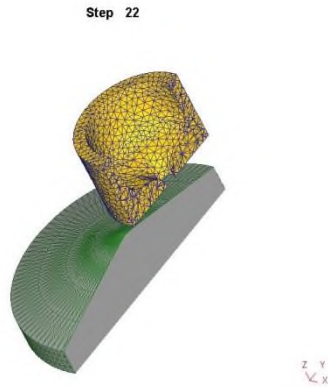


Рис. Процес формування внутрішнього бурта заготовки в зоні контакту з валком: вигляд у перерізі.

Модель підсумовування пошкоджень, що запропонована в працях В. А. Огороднікова, залишається доволі популярною у працях вітчизняних науковців І. С. Алієва, О. В. Грушка, В. В. Кухаря, В. А. Тігова, М. Б. Штерна та багатьох інших [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Модель кривої накопичення пошкоджень у координатах $\eta-\psi$, що побудована на основі (1) з використанням вказаної моделі підсумовування пошкоджень, набуває такого вигляду:

$$\begin{cases} \eta(t) = \frac{b \cdot (tg(t) - t) + a \cdot \sqrt{1+c} \cdot t}{\sqrt{tg^2(t) + c \cdot t^2}}, \\ \psi(t) = \int_0^t \frac{n(x) \cdot m^{n(x)} \cdot \left(\int_0^x \sqrt{\frac{1}{\cos^4 \tau} + 3} \cdot d\tau \right)^{n(x)-1} \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^4 x} + 3}}{\left(\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=0) \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1)}{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)} \right)^{\frac{\eta(x)}{2}} \cdot \left(\frac{\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=1) \cdot \bar{\varepsilon}_{fs}(\eta=-1)}{\varepsilon_{fs}^2(\eta=0)} \right)^{\frac{\eta^2(x)}{2}} \right)^{n(x)}} \cdot dx, \quad t \in \left[0, \frac{\pi}{2} \right], \end{cases} \quad (2)$$

де

$$n(t) = 1 + \frac{0,2 \cdot \left(\frac{b \cdot tg^2(t) + a \sqrt{1+c}}{\sqrt{tg^2(t) + c \cdot t^2}} - \frac{1}{2} \frac{(b \cdot (tg(t) - t) + a \sqrt{1+c}) \cdot (2tg(t) \cdot (1 + tg^2(t)) + 2 \cdot c \cdot t)}{(tg^2(t) + c \cdot t^2)^{\frac{3}{2}}} \right)}{m \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^4(t)} + 3}};$$

$\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = -1)$, $\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = 0)$, $\bar{\varepsilon}_{fs}(\eta = 1)$ - граничні деформації за умов стаціонарного деформування; η - безрозмірний показник напруженого стану, що дорівнює відношенню першого інваріанта тензора напружень до інтенсивності напружень.

Показано, що в ряді випадків останнє співвідношення може бути замінене сталим коефіцієнтом n , а також наведено методику обчислення його значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mikhalevich V. M., Lebedev A. A., Dobranyuk Yu. V. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression // *Strength of Materials*. 2011. Vol. 43, No. 6. P. 591–603. DOI: 10.1007/s11223-011-9332-7.
2. Михалевич В. М., Матвійчук В. А., Колісник М. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому видавлюванні методом штампування обкочуванням // *Обробка матеріалів тиском*. 2022. № 1(51). С. 87–96. DOI: 10.37142/2076-2151/2022-1(51)87.
3. Михалевич В. М., Добрянук Ю. В., Тютюнник О. І. Моделі накопичення пошкоджень в ізотропних матеріалах при холодному двохетапному деформуванні: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2024. 121 с. URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/833/1454/2728-1?inline=1> (дата звернення: 02.11.2024).
4. Грушко О. В., Огородніков В. А., Слободянюк Ю. О. Деформовність маловуглецевого дроту в процесі його багатоступінчастого холодного волочіння // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 3. С. 103–110. DOI: 10.31649/1997-9266-2019-144-3-103-110.

5. Матвійчук В. А., Колісник М. А., Штуць А. А. Дослідження напружено-деформованого стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочуванням // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3(102). С. 77–84.
6. Сивак Р. І., Огородніков В. А., Архіпова Т. Ф. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском. Вінниця: ВНАУ, 2022. 202 с. ISBN 978-617-7230-46-7.
7. Грушко О. В., Кириця І. Ю. Критерії деформовності з врахуванням властивостей матеріалу в параметрі напруженого стану // Обробка матеріалів тиском. 2022. № 1. С. 30–37.
8. Сухоруков С. І., Коцюбівська К. І., Сивак І. О. Оцінка деформуємості заготовок при поперечно-клиновій прокатці [Текст] // Наукові нотатки. 2009. № 25. С. 272–275.
9. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Тютюнник О. І., Колісник М. А. Лінійні та нелінійні моделі в теорії підсумовування пошкоджень // Обробка матеріалів тиском: зб. наук. пр. 2024. № 1(53). С. 100–108. DOI: 10.37142/2076-2151/2024-1(53)100.
10. Гараненко Т. Р., Титов А. В. Оценка деформируемости титанового сплава в условиях изотермического формообразования. 2020.
11. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Краєвський О. В. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій // Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2018. № 2(8). С. 56–64.
12. Mykhalevych V., Dobraniuk Y., Matviichuk V., Kraievskyi V., Tiutiunnyk O., Smailova S., Kozbakova A. A comparative study of various models of equivalent plastic strain to fracture // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2023. № 1. P. 54–70. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.3496>.

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

Колісник Микола Анатолійович — асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки», Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, e-mail: kolisnik30@gmail.com;

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

CONSTRUCTION AND SIMPLIFICATION OF A DEFORMABILITY MODEL FOR CYLINDRICAL BLANKS IN ROLLING STAMPING AND UPSETTING PROCESSES

Abstract

Deformability models of cylindrical blanks in upsetting, rolling, and both forward and backward extrusion processes by means of rolling stamping have been investigated. Particular attention is given to overly complex models arising from the application of the widely used damage accumulation model by V. Ohorodnikov in combination with specific types of deformation trajectories of material macro-particles in critical zones. A representative model is constructed for the forward extrusion process by rolling stamping. It is shown that the results of computer simulations of a tubular blank's deformation during the formation of an internal flange of a cup-shaped part by end rolling do not contradict the adopted parametric description of deformation trajectories. Structural components of the models that significantly complicate their formulation and analysis are identified. It is found that these trajectories possess specific properties that allow for substantial simplification of complex deformability models. A method is proposed by which a certain functional dependence within the model can be replaced by a constant coefficient without significant loss of accuracy, thereby greatly facilitating further analytical and numerical studies.

Keywords: damage accumulation model, deformability model, deformation trajectory, rolling stamping, upsetting.

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

Kolisnyk Mykola A. — Assistant Professor of the Department of Electric PowerEngineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, kolisnik30@gmail.com

ShtutsAndrii A. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Electric PowerEngineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, e-mail: shtuts1989@gmail.com