УДК 621.77.01

А. А. Штуць

СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЕФОРМАЦІЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ЗАГОТОВОК В ОПЕРАЦІЯХ ВИСАДЖУВАННЯ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Вінницький національний аграрний університет

Анотація

Здійснено аналіз способу конструювання диференціального рівняння та отримання на цій основі залежності між осьовою та коловою компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану вільної поверхні циліндричної заготовки під час її торцевого стиснення. Запропоновано узагальнення відомого співвідношення для можливості врахування більш жорсткого напруженого стану матеріалу на вільній бічній поверхні фланця під час операції штампування обкочуванням трубних кільцевих заготовок.

Ключові слова: осьова та колова компоненти пластичної деформації, диференціальне рівняння, координатна сітка, показник напруженого стану, вільна бічна поверхня, фланець, штампування обкочуванням, конічний валок, трубна кільцева заготовка.

Abstract

An analysis of the method for constructing a differential equation and obtaining on this basis the relationship between the axial and circumferential components of plastic strain to describe the stress state of the free surface of a cylindrical billet during its compression was performed. A generalization of the well-known relation for the possibility of taking into account a more rigid stress state of the material on the free side surface of the flange during the initial stage of the rolling forging operation of annular tubular blanks was proposed.

Keywords: axial and circumferential components of plastic strain, a differential equation, coordinate grid, stress tryaxiality, free side surface, flange, annular tubular blank, rolling forging.

Вступ

Штампування обкочуванням є не тільки широковідомим процесом деформування, що використовується як складова частина технологічного процесу виготовлення деталей, але й ефективним способом дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів. Однією з найбільш поширених технологічних операцій штампування обкочуванням є висаджування зовнішніх фланців на трубних (кільцевих) заготовках. Як відомо [2, 3, 4, 5.] під час ШО трубних, циліндричних зразків із малопластичних матеріалів на бічних поверхнях утворюються тріщини.

Для побудови моделі деформовності матеріалу вказаних небезпечних зон заготовок необхідно побудувати залежності між компонентами пластичної деформації матеріалу вільної бічної поверхні фланця.

В працях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] запропоновано різні методи визначення траєкторії деформацій.

Доволі ефективний спосіб побудови подібних залежностей на основі конструювання та розв'язання диференціальних рівнянь розвинено в працях [10, 11].

Метою роботи є аналіз зазначеного способу конструювання диференціального рівняння та отримання на цій основі залежності між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану матеріалу вільної поверхні фланця заготовки під час операції висаджування методом штампування обкочуванням.

Результати дослідження

В [10, 11] зазначається, що в літературних джерелах до появи праць цих авторів були відсутні вимоги щодо побудови залежності між компонентами приростів деформацій на вільній бічній поверхні циліндричного зразка під час його торцевого стиснення.

Відсутність таких умов суттєво ускладнює встановлення залежності між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації

$$\varepsilon_z = f(\varepsilon_\varphi) \tag{1}$$

на основі експериментальних даних по замірам зміни розмірів координатної сітки. Це пов'язане з відчутним розсіюванням подібних експериментальних даних та необхідністю використання похідних від залежності (1) під час визначення інваріантів напружено-деформованого стану матеріалу заготовки.

В [10, 11] зазначається, що суттєвого покращення точності визначення інваріантів напружено-деформованого стану матеріалу вільної бічної зони циліндричної заготовки під час її торцевого стиснення, можна досягти за рахунок побудови залежності (1) у вигляді диференціального рівняння, що задовольняє низці певних вимог. Авторами [10, 11] ці умови сформульовані та зазначається, що відоме співвідношення

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\cdot\frac{m^2}{\varepsilon_\varphi^2 + m^2},\ m > 0, \tag{2}$$

задовольняє всі вказані умови, зокрема

$$\left.\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi}\right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -2. \tag{3}$$

Параметр m звичайно визначається на основі результатів замірів зміни розмірів координатної сітки.

Із застосуванням теорії течії можна показати, що ця умова тотожна умові

$$\left.\eta\right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -1, \quad , \tag{4}$$

Це означає, що незалежно від умов тертя на торцях циліндричного зразка на початковій стадії торцевого стиснення матеріал вільної бічної поверхні перебуває в напруженому стані рівномірного стиснення.

Особливої уваги заслуговує схема штампування обкочуванням, коли вершина конічного валка зміщена від осі заготовки в напряму плями контакту (рис. 1а). Ця схема дозволяє отримувати широкі фланці, проте вже на початкових стадіях обкочування периферійна зона фланця відходить з контакту з валком (рис. 1б), що формує на вільній поверхні досить жорстку схему напруженого стану. Тобто, вже на початковій стадії вказаного процесу має місце більш жорсткий напружений стан матеріалу небезпечних зон, у порівнянні з торцевим стисненням циліндричних зразків.

а) б)

Рис. 1. Схема висаджування зовнішнього фланця заготовки методом штампування обкочуванням а) і форма перерізу сформованого фланця б)

Отже, для побудови математичної моделі деформовності матеріалу небезпечних зон під час операції штампування обкочуванням трубних циліндричних зразків умову (3) необхідно узагальнити на випадок можливості відображення вказаної особливості. Іншими словами пропонується умову (3) записати в такому вигляді

$$\left.\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi}\right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -(1+\theta),\ 0 \le \theta \le 1. \tag{5}$$

Узагальнимо рівняння (2) з урахуванням останньої умови

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{4}\cdot(1+\theta)\cdot\left(1+\frac{3\cdot m^2}{\varepsilon_\varphi^2+m^2}\right),\ m>0,\ 0 \le \theta \le 1. \tag{6}$$

Ми отримали диференціальне рівняння першого порядку з відокремлюваними змінними. Розв'язанням цього диференціального рівняння отримаємо шукану залежність між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану вільної поверхні заготовки під час операції штампування обкочуванням

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{4}\cdot(1+\theta)\cdot\left(\varepsilon_\varphi + 3\cdot m\cdot arctg\left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m}\right)\right). \tag{7}$$

Диференціальне рівняння (2) випливає із (6), як окремий випадок при $\theta = 1$. Аналогічним чином, при цьому залежність (7) стає тотожною залежності

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{2}\cdot\varepsilon_\varphi - \frac{3}{2}\cdot m\cdot arctg\left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m}\right), \tag{8}$$

що досліджується в [10, 11] та є розв'язком диференціального рівняння (2).

Висновки

На основі способу конструювання диференціального рівняння, що задовольняє низку умов, отримано аналітичну залежність між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації матеріалу вільної бічної поверхні фланця заготовки під час операції штампування обкочуванням, коли вершина конічного валка зміщена від осі заготовки в напряму плями контакту. Ця залежність, параметри якої визначаються на основі експериментальних даних, є необхідною складовою для побудови моделі деформовності матеріалу небезпечних зон заготовок під час вказаних операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kupchuk I. Kolisnyk M., Shtuts A., Paladii M. Development of the technological process of forming rings from sheet samples by stamping rollers and rotary hood. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series I: Engineering Sciences.* 2021. Vol. 14 (63), № 2. P. 1-13.

2. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография, В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. Краматорск: ДГМА, 2009. -268 с.

3. 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.

4. 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

5. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалевич, М. А. Колісник // Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця: ВНАУ 2022. № 1(104). С. 81 91.

6. Михалевич В. М., Матвійчук В.А., Добранюк Ю. В., Трач Є. А. Прогнозування граничного стану бічної поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні, Обработка материалов 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 Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. - Краматорск : ДГМА. - 2014. - №1(38). С. 41-47.

8. Матвийчук, 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, Моторсіч, Запоріжжя, с. 339-363.

9. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця: ВНАУ - 2021. - № 2(113). - С. 56 64.

10. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression/ V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev, Yu Dobranyuk Strength of Materials. - 2011, Vol. 43, No. 6. (1 October 2011), pp. 591-603.

11. Михалевич В. М. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні: монографія / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 180 с. ISBN 978-966-641-532-8.

12. Viktor Matvijchuk., Andrii Shtuts., Mykola Kolisnyk, Ihor Kupchuk.,Iryna Derevenko., (1%)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, https://www.scopus.com/sourceid/21603SNIP 2020:0,946

13. Матвійчук В.А. Колісник М.А., Штуць А.А. Побудова кривих граничних деформацій матеріалів, *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1(104). С. 156-162.

Штуць Андрій Анатолійович – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: shtuts1989@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4242-2100).

Andrii Shtuts – Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com , https://orcid.org/0000-0002-4242-2100).