

# РОТАЦІЙНА ВИТЯЖКА ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Винницький національний аграрний університет

## Анотація

В роботі виконані дослідження пластичності металу листової заготовки в залежності від механічних характеристик матеріалу заготовки та історії навантаження, яка визначається геометричною формою деталі та ролика, траєкторією руху ролика та кількістю переходів. Для оцінки величини використаного ресурсу пластичності використано критерій деформівності, в основу якого покладено гіпотезу про тензорний характер процесу накопичення пошкоджень. Процес ротаційної витяжки деталі складної форми виконано за два переходи.

**Ключові слова:** ступінь деформації, ресурс пластичності, тензор пошкоджень, показник напруженого стану, параметр Надаї-Лоде, історія деформування.

## Abstract

In the work are performed studies of metal blanks plasticity sheet depending on the mechanical properties of the workpiece material and load history, defined are geometric shape details and roller trajectory and conversions. To assess the value of ductility resource deformation criterion are used, which is based on the hypothesis of tensor nature of the accumulation of damage. The process of rotary drawing parts of complex shape is made by two stages.

**Keywords:** degree of deformation, plasticity resource, damage tensor, the stress condition index, Nadai - Lode parameter, history of deformation.

При виготовленні осесиметричних деталей із плоских листових заготовок в мілкосерійному та одиничному виробництві перспективною технологією є ротаційна витяжка – процес локального циклічного пластичного деформування заготовки, що обертається, деформувальним інструментом. Основною технологічною відмовою в операціях ротаційної витяжки наряду із втратою стійкості є руйнування внаслідок вичерпання запасу пластичності [1-5]. При ротаційній витяжці деталей складної форми має місце немонотонне навантаження, обумовлене циклічністю навантаження та складною траєкторією руху деформувального ролика, яка вибирається такою, щоб забезпечити стійкість формозмінення та уникнути руйнування заготовки.

В даній роботі виконані дослідження пластичності металу листової заготовки в залежності від геометричних характеристик деформувального ролика і деталі та історії навантаження, яка визначається геометричною формою деталі та ролика, траєкторією руху ролика та кількістю переходів, необхідних для виготовлення деталі заданою форми та розмірів.

Деталь складної форми виготовляли за два переходи. На першому переході отримана заготовка кінчної форми на оправці, яка мала форму заготовки. На другому переході деталь опукло-вигнутої форми виготовляли на циліндричній оправці, а задану форму деталі отримували за рахунок вибору відповідних траєкторій руху деформувального ролика.

Для того, щоб на другому етапі формозмінення не появлялись макротріщини, необхідно щоб величина використаного ресурсу пластичності  $\psi$  на першому етапі при виготовленні кінчної заготовки не перевищувала значень  $\psi \leq 0,4 - 0,5$ . Так як при ротаційній витяжці має місце немонотонна пластична деформація, то для оцінки величини  $\psi$  використана тензорна модель процесу накопичення пошкоджень [6-8]. При цьому процес накопичення пошкоджень в пластично деформованому металі описували компонентами тензора

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) \beta_{ij} de_u^*, \quad (1)$$

де  $F(e_u, \eta, \mu_\sigma)$  – функція, яка залежить від фізико-механічних властивостей металу та історії навантаження;  $e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau$  – ступінь деформації;  $t$  – час;  $\dot{\epsilon}_u$  – інтенсивність швидкостей деформацій;

$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}$  - показник жорсткості напруженого стану;  $\mu_\sigma$  - параметр Надаї-Лоде;  $\sigma$  - середнє напруження;

$\sigma_u$  - інтенсивність напружень;  $\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{de_u}$  - компоненти направляючого тензора прирощень деформацій.

Величину використаного ресурсу пластичності розраховували за формулою

$$\psi = \sqrt{\psi_{ij}\psi_{ij}}. \quad (2)$$

При цьому для визначення компонент тензора пошкоджень використали вираз [7]

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} \left( 1 - a + 2a \frac{e_u^*}{e_p} \right) \beta_{ij} \frac{de_u^*}{e_p}. \quad (3)$$

де  $e_p(\eta, \mu_\sigma)$  – поверхня граничних деформацій [5],  $a$  константа, яку приймали рівною  $a=0,5$  [7].

Для визначення компонент  $\psi_{ij}$  необхідно мати інформацію про напружено-деформований стан в осередку деформації та закономірності його зміни в процесі формозмінення. Така інформація отримана після розв'язку задачі методом скінченних елементів. Величину використаного ресурсу пластичності розраховували за формулою (2). Розрахунки виконані для заготовки діаметром  $d=80$ мм і товщиною  $\delta=1$ мм із сталі 10. При цьому використано деформуючий ролик діаметром  $D=140$ мм і радіусом робочої поверхні  $R=4$ мм. Поверхню граничних деформацій для сталі 10 апроксимували залежністю [5]

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0.68 \exp(0.43\mu_\sigma - 0.91\eta).$$

В результаті виконаних розрахунків встановлено, що найбільше значення величини використаного ресурсу пластичності  $\psi$  після першого етапу формозмінення не перевищує величини  $\psi \leq 0,46$ . Так як величина  $\psi$  на першому етапі ротаційної витяжки кінчної заготовки не перевищила значень  $\psi=0,5$ , то в подальшому із отриманої заготовки на другому етапі ротаційної витяжки отримали якісну деталь опукло-вигнутої форми.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юдин Л. Г. О предельных возможностях формоизменения при многооперационной ротационной вытяжке / Л. Г. Юдин, В. А. Коротков, Н. А. Горюнова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1998. - №10. – С. 24 - 26.
2. Алиев И. С. Классификация и области применения локального ротационного деформирования / И. С. Алиев, В. А. Матвийчук // Обработка материалов давлением: сб-к научных трудов, Краматорск: ДГМА. - №1 (22). – 2010. – С. 137 – 143.
3. Грушко О. В. Діагностування граничного формозмінення листових матеріалів / О. В. Грушко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. - №1. \_ С. 111 - 115.
4. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселёв, И. О. Сивак. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
5. Сивак И. О. Пластичность металлов при объёмном напряжённом состоянии / И. О. Сивак, Е. И. Коцюбивская // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ-Хмельницький, 2007. – С. 73 - 76.
6. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 196 с.
7. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель // Физика и техника высоких давлений. – 1983. - №11. – С. 28-32.
8. Сивак Р. И. Оценка пластичности металла при холодном двухэтапном деформировании / Р. И. Сивак, В. А. Огородников, И. О. Сивак // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти», К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 74 – 80.

**Сивак Іван Онуфрійович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [sivak\\_i\\_o@mail.ru](mailto:sivak_i_o@mail.ru)

**Sivak Ivan Onufrievich** - Professor, Head of the Department of Technology and Automation Engineering, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, [sivak\\_i\\_o@mail.ru](mailto:sivak_i_o@mail.ru)